

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



OBTENCIÓN DE LOMO CURADO CON BAJO CONTENIDO EN SAL: APLICACIÓN DE UN NUEVO PROCESO DE ELABORACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO/MÁSTER EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS

ALUMNO: Javier Carrilero Ferrer

TUTORA: Ana Fuentes López

COTUTORES: Raúl Grau Meló
José Manuel Barat

Curso Académico: 2016/2017

VALENCIA, 15/06/2017

Contenido

Lista de figuras	iii
Lista de tablas	iv
RESUMEN	v
1. Introducción.....	1
1.1 Productos cárnicos: importancia económica, producción y consumo	1
1.2. Productos cárnicos: productos curados.....	2
1.3. Valor nutricional de los productos cárnicos	3
1.4. Proceso de elaboración del lomo curado	3
1.5. Nuevas alternativas a los procesos tradicionales de salado-curado	5
1.6 La sal en los productos cárnicos.....	6
1.6.1. Funcionalidad de la sal en los productos curados.....	6
1.6.2. Implicaciones nutricionales de la sal en la dieta	7
1.6.3. Alternativas para reducir el contenido de sal en los alimentos.....	8
1.7. Técnicas de análisis de imagen	9
2. Objetivo y plan de trabajo.....	12
2.1. Objetivo	12
2.2. Plan de trabajo	12
3. Material y métodos	13
3.1. Material y equipos.....	13
3.2 Materia prima	13
3.3 Preparación de la muestra	14
3.4 Determinaciones analíticas	16
3.4.1. Humedad	16
3.4.2 pH.....	16
3.4.3. Contenido en cloruro.....	16
3.4.4. Actividad de agua (a_w).....	17
3.4.5. Propiedades mecánicas	17
3.4.6 Color.....	17
3.4.7. Evaluación sensorial	18
3.4.8. Análisis de imagen.....	18
4 Resultados y discusión.....	20
4.1. Caracterización de la materia prima.....	20
4.2. Pérdida de peso durante el proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua	21

4.3. Parámetros fisicoquímicos de los lomos con y sin sustitución parcial de sodio	22
4.4. Evaluación sensorial	32
4.5 Análisis de imagen	33
5. CONCLUSIONES	36
Bibliografía	37

Lista de figuras

Figura 1.1 Diagrama de flujo proceso tradicional del lomo curado	5
Figura 4.1. Variaciones de peso (valores promedio) de 8 piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl: 50% KCl).	22
Figura 4.2. Valores de humedad (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	23
Figura 4.3. Contenido en cloruros en base húmeda y base seca (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	25
Figura 4.4. Valores de Na y K (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	26
Figura 4.5. Valores de aw (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl: 50% KCl).	28
Figura 4.6. Valores de pH (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	29
Figura 4.7. Valores dureza, elasticidad, adhesividad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	30
Figura 4.8. Parámetros de color a*, b* y L* (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	31
Figura 4.9. Puntuaciones dadas por los catadores para los atributos sensoriales evaluados en las muestras de lomo curado con diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).	32
Figura 4.10. Perfil de tono de gris para una línea de píxeles de una loncha de lomo salado con ion Na (línea roja) y K (línea negra).	33
Figura 4.11. Segmentación de imagen realizada por los rangos de tono de gris 55-90 (píxeles rojos) y 100-130 (píxeles blancos). Los píxeles negros corresponderían al resto de tonos no seleccionados.	34

Figura 4.12 Resultado estadístico multifactorial ANOVA para el ratio entre el número de píxeles correspondientes al rango de selección (55-90 ó 100-130) el número total de píxeles **34**

Figura 4.13. Relación entre el ratio entre los tonos de gris comprendidos entre 55 y 90 y los comprendidos entre los 100 y 130 y la humedad de la zona interna y externa de los lomos (izquierda) y con el espesor del lomo (derecha). **35**

Lista de tablas

Tabla 1.1 producción española de elaborados cárnicos	2
Tabla 3.1. Condiciones de temperatura y humedad relativa (HR) en las diferentes etapas del proceso de salado curado.	15
Tabla 4.1. Valores de humedad y pH obtenidos en la caracterización del lomo fresco empleado como materia prima (n=3).	20

RESUMEN

Los productos curados elaborados en España son muy valorados por su calidad y atributos sensoriales. La sal es un elemento esencial en estos productos, ya que no solo alarga la vida útil del producto sino que además contribuye al desarrollo de sus características sensoriales. Debido a que el consumo elevado de sal se ha relacionado con la aparición de ciertas enfermedades como la hipertensión, es interesante reducir su contenido en productos curados. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un nuevo proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua para obtener lomo curado con y sin sustitución parcial de cloruro sódico por cloruro potásico. Los resultados obtenidos mostraron la aparición de cierto encostramiento en el producto, lo que indica la necesidad de seguir trabajando en la optimización de las condiciones de procesado. En general, no hubo diferencias significativas en los parámetros tanto físico-químicos como sensoriales, según el tipo de sal utilizada. Estos resultados, indican que el proceso desarrollado en el presente trabajo permite obtener un producto de lomo curado con un 50% menos de sodio y similares características que el producto convencional. Mediante análisis de imagen se obtuvo información sobre el encostramiento de las piezas de lomo. El uso de bolsas permeables al vapor de agua en el proceso de salado-curado es adecuado para obtener curado bajo en sodio.

Palabras clave: salado-curado, bolsas permeables, reducción de sal, análisis de imagen, producto curado.

ABSTRACT

Cured products made in Spain are highly valued for their quality and sensory attributes. Salt is an essential element in these products, as it not only extends the useful life of the product but also contributes to the development of its sensorial characteristics. Because high salt consumption has been linked to the onset of certain diseases such as hypertension, it is interesting to reduce its content in cured products. The objective of the present work is to develop a new salt-cured process using water-permeable pouches to obtain cured loin with and without partial substitution of sodium chloride for potassium chloride. The obtained results showed the appearance of some crusting the product, which indicates the need to continue working in the optimization of the processing conditions. In general, there were no significant differences in both physical-chemical and sensory parameters, depending on the type of salt used. These results indicate that the process developed in the present work allows to obtain a cured loin product with 50% less sodium and similar characteristics than the conventional product. Image analysis provided information on the crusting of the loin pieces. The use of water vapor permeable pouches in the salting-curing process is suitable for low sodium curing.

Key words: salt-cured, permeable pouches, sodium reduction, image analysis, meat products

1. Introducción

1.1 Productos cárnicos: importancia económica, producción y consumo

Los productos cárnicos en España poseen una gran tradición, de manera que se pueden encontrar en el mercado numerosos productos desde los más tradicionales, elaborados mediante los procesos de fabricación originales, hasta los más innovadores. En la actualidad, los procesos de elaboración se encuentran en continuo cambio encontrándose en el mercado productos cárnicos elaborados con las tecnologías más avanzadas.

Los productos cárnicos elaborados en España son muy apreciados en todo el mundo dado a su reconocida calidad y atributos sensoriales característicos. La buena imagen de nuestros productos y su gran presencia en el mercado internacional hace de la industria cárnica una de los sectores económicos más importantes, siendo el cuarto sector industrial de nuestro país, tan sólo superado por la industria automovilística, la industria del petróleo y combustibles y la producción y distribución de energía eléctrica. Este sector está constituido por casi 3.000 empresas, principalmente pequeñas y medianas empresas. De tal forma que la industria cárnica se encuentra en primer lugar de toda la industria española de alimentos y bebidas, representando una cifra de negocio de 22.168 millones de euros anuales, lo que supone más del 21,6% de todo el sector alimentario español. Todo ello hace que constituya aproximadamente el 2% del PIB total español y el 14% del PIB de la rama industrial, representando más del 20% de la ocupación total de la industria alimentaria española (año 2013) (ANICE, 2017).

La producción nacional no sólo se destina al consumo interno, ya que España es uno de los grandes exportadores de productos cárnicos de Europa, siendo los destinos más habituales Francia (con un total del 33% de las toneladas exportadas), Portugal (20%), Italia (13%), Reino Unido (10%) y Alemania (7%). En el año 2013, España se situó como el cuarto productor mundial de carne porcina, con un 3,4% de la producción mundial, aunque muy lejos de China cuya producción supone la mitad de toda la producción mundial (MAGRAMA 2014)

En cuanto al mercado español, se aprecia a lo largo de los últimos años una tendencia al alza en la producción de los productos cárnicos, alcanzando en el año 2014 la cifra de 1.323.700Tm. Así mismo, las preferencias del consumidor español están encabezadas por los jamones curados representando más de un tercio de las ventas de derivados cárnicos llegando a una cuota de producción de 260.000 Tm. A estos productos, les siguen en cuanto a producción el resto de productos curados y productos cocidos como los jamón y paleta cocidos (tabla 1.1).

Tabla 1.1. Producción española de elaborados cárnicos

Producto	2010	2011	2012	2013	2014
Jamón y paleta curados	251.000	255.000	247.500	254.000	260.500
Embutidos curados	188.000	185.000	183.000	186.000	191.000
Jamón y paleta cocidos	174.000	175.600	176.000	177.500	178.500
Otros tratados por el calor	393.000	408.700	421.000	417.000	413.000
Prod adobados y frescos	182.500	185.000	187.200	189.000	191.500
Platos preparados	82.000	83.000	86.300	87.500	89.200
TOTAL ELABORADOS	1.270.500	1.292.300	1.301.000	1.311.000	1.323.700

Fuentes: ANICE (http://www.anice.es/industrias/el-sector/el-sector-carnico_171_1_ap.html)

1.2. Productos cárnicos: productos curados

Se define un producto cárnico como la carne fresca a la cual se le ha añadido algún producto alimenticio o aditivo o bien ha podido ser sometida a transformaciones que no alteran la estructura interna de la fibra muscular y, por tanto, mantienen el aspecto similar a la carne fresca, al contrario que ocurre con los derivados (Reglamento 853/2004). Los productos cárnicos se clasifican en función del tratamiento a los que han sido sometidos, los factores de composición y calidad. Estas definiciones aparecen fijadas en el Real Decreto 474/2014 de 13 de junio (BOE, 2014). En este sentido podemos diferenciar entre aquellos tratados o no por calor.

Productos cárnicos tratados por calor fundamentalmente se caracterizan por ser sometidos en su fabricación a un tratamiento térmico suficiente para conseguir, en su parte interna, una coagulación parcial o total de sus proteínas. Productos tales como jamón cocido o mortadela. También pueden ser sometidos a tratamientos de ahumado y maduración. En función del tipo de tratamiento al que es sometido a su vez se distinguen en: *Derivados cárnicos esterilizados, derivados cárnicos pasteurizados o derivados cárnicos con tratamiento térmico incompleto*

Productos cárnicos no tratados por calor destacan por no ser sometidos a ningún tratamiento o bien, han sufrido un proceso de curado-maduración, acompañado o no de fermentación, de oreo, de marinado-adobado u otro proceso tecnológico no térmico, suficiente para dotarles de las características organolépticas propias. En esta clasificación se encuentran productos como la paleta de jamón, la cecina o el lomo curado. A su vez en función de la técnica utilizada se clasifican como: *Derivados cárnicos oreados, derivados cárnicos marinado-adobados, derivados cárnicos salmuerizados, derivados cárnicos no sometidos a tratamiento o derivados cárnicos curado-madurados*, dado al tema del presente trabajo cabe destacar que en este último apartado se encuentra el **lomo curado**, el cual se define como un “producto elaborado con el paquete muscular formado por los músculos espinal y semiespinal del tórax, así como los

músculos , lumbar y torácico del cerdo, con apenas grasa externa, aponeurosis y tendones, adobado y embutido en tripas naturales o artificiales (BOE,2014).

1.3. Valor nutricional de los productos cárnicos

Los productos cárnicos curados destacan por su alto contenido en proteínas (16 y 20%) de alto valor biológico, ya que aportan gran cantidad de aminoácidos esenciales. En cuanto a la grasa el porcentaje de esta es muy variable de unos productos a otros oscilando desde un 11% hasta un 30% según tipo de corte y animal de procedencia y la formulación del producto. Además los productos cárnicos son una buena fuente de hierro, potasio, fósforo y zinc, minerales esenciales para nuestro organismo, y también vitaminas del grupo B. (INFOCARNE, 2017).

1.4. Proceso de elaboración del lomo curado

El curado es uno de los procesos de conservación de la carne más utilizados desde la antigüedad, de tal manera que este proceso ha ido evolucionando contando actualmente con diferentes técnicas que conllevan una serie de diferencias sobre el procesado del producto. No obstante el proceso tradicional hoy en día sigue siendo de gran relevancia en la elaboración de los productos cárnicos curados. Según el tipo de carne así como la calidad y el producto final que se vaya a obtener este proceso tendrá una serie de variantes. (Armenteros, 2010)

En primer lugar es determinar el peso de la pieza para establecer los días de salado necesarios y el contenido en grasa para saber los de secado.

Acondicionamiento de la materia prima: el proceso tecnológico empieza por acondicionar la materia para ello se debe limpiar bien la pieza quitándole la grasa exterior que pueda tener, prepararla, limpiarla y recortarla.(Picó, 2015; Soriano, 2017). Se realiza con el objetivo de garantizar un producto estable evitando el crecimiento de microorganismo que pueden interferir en la calidad e inocuidad del alimento

En esta etapa se persigue que un producto perecedero se transforme en un producto estable a temperatura ambiente, evitando el desarrollo de alteraciones microbianas que conducen a la putrefacción del mismo. Esto se consigue con las primeras etapas de la elaboración del lomo: nitrificación/salado, adobo y maceración/reposo. (Sánchez Molinero, 2003).

Así pues, tras el sacrificio, los lomos se refrigeran durante 48 horas en una cámara frigorífica industrial a 2-4 °C. Pasado este tiempo se someten a congelación en un congelador industrial a una temperatura de -40 °C y posteriormente se almacenan durante aproximadamente 5 días a -20 °C. Por último, se realiza un proceso de descongelación previo a su procesado en una cámara de refrigeración a 3-4 °C durante 5 días (Armenteros et al., 2010).

Nitrificación: Durante la etapa de nitrificación se mezclan las sales de nitrificación formadas por una mezcla de nitratos y nitritos con la cantidad de sal correspondiente, luego se frota los lomos mediante masaje en bombo durante aproximadamente 20 minutos. Seguidamente se depositan en una cubeta o contenedor y se añade la sal que haya podido quedar restante en el bombo y se llevan a la cámara de frío. Finalmente, se mantendrán los lomos en refrigeración a 4 °C durante 2 días para estabilizar el producto. Cabe destacar que la humedad relativa de estas cámaras no debe ser superior al 75 % de esta forma se inhibe el crecimiento de microorganismos alterantes, así como se evita una desecación externa que impediría la penetración de la sal hacia el interior del lomo.

Adobo: En este proceso se sacan los lomos de la cámara de refrigeración y se adoban con una mezcla de especias, aditivos y azúcar, mediante masaje en bombo durante 20 minutos a velocidad lenta, empleando vacío preferiblemente. Una vez finalizado el proceso se vuelven a colocar en las cubetas.

Maceración: A continuación tapados con un plástico se mantienen en cámara de maceración durante 4-8 días a 4 °C.

Embuchado: Consiste en embutir en tripas naturales o artificiales de un calibre adecuado al grosor del lomo, es conveniente establecer unas condiciones de secado más suaves si se utilizan las artificiales ya que de lo contrario puede retraerse más rápidamente la carne que la tripa y ésta quedarse despegada. El objetivo de este proceso es garantizar un buen reparto de la sal absorbida además también se consigue una ligera deshidratación.

Secado-Maduración: Para curación rápida se efectúa un ligero estufaje a una temperatura de 20-22 ° C y una humedad relativa del 95 %, durante 2-3 días según el grosor del lomo, llevándose entonces al secadero. Si no se realiza el estufaje, se deben mantener con una humedad entre el 90-95 %, durante los primeros 4-5 días a 10 °C y después en el secadero se va reduciendo progresivamente la humedad.

En el secadero se mantendrá a una temperatura de 10-12 ° C y 75-80 % de H.R. entre 25 y 45 días, según la clase de tripa utilizada y su calibre. En caso de no tener secadores en estas condiciones controladas lo más conveniente es aproximarse al máximo a los datos citados y las piezas deben situarse en un lugar que no tenga corrientes de aire, evitándose en lo posible los cambios bruscos de temperatura y humedad (Armenteros, 2010).

En esta última etapa se efectúa la curación y alcanzan las características sensoriales que caracterizan a este producto. Se produce una serie de reacciones químicas y enzimáticas que formarán compuestos sápidos y aromáticos, que le conferirán las cualidades sensoriales propias del lomo curado (Sánchez Molinero, 2003).



Figura 1.1. Diagrama de flujo proceso tradicional del lomo curado

1.5. Nuevas alternativas a los procesos tradicionales de salado-curado

En la actualidad, la industria de productos salados cárnicos sigue innovando buscando nuevos procesos que permitan la reducción de los tiempos de procesamiento, minimizar la generación de residuos, reducir la variabilidad en el contenido de sal y humedad en el producto final y garantizar su inocuidad.

Con este objetivo se investiga en diferentes alternativas. Una de estas investigaciones, se han dirigido hacia la aplicación de las técnicas de salado con control termodinámico donde se

dosifica sobre el producto la cantidad exacta de sal necesaria para alcanzar la concentración de sal óptima en el producto. Estas técnicas deben ser adaptadas a cada caso considerando variables como las características iniciales de la materia prima, las condiciones de procesado y las características que se persiguen en el proceso final (Fuentes, 2008; Aliño 2006). Esta técnica permite además controlar de forma efectiva el volumen de residuos de sal generados por un uso excesivo de sal en estos procesos.

Otras investigaciones recientes se centran en la incorporación del envase como una variable más en el proceso. Esta metodología ha sido desarrollada para la obtención de productos de la pesca ahumados, donde el ahumado se realiza en bolsas permeables al vapor de agua bajo condiciones controladas de temperatura y humedad. Mediante este nuevo método de procesado se han conseguido diferentes productos de la pesca ahumados, con una buena calidad higiénica durante su almacenamiento, reduciendo la manipulación del pescado, los residuos de salmuera y etapas de procesado (Rizo et al., 2017).

Los excelentes resultados obtenidos en estos trabajos muestran el interés de seguir investigando en este campo adaptando el proceso desarrollado para productos de la secta al sector de los derivados cárnicos.

1.6 La sal en los productos cárnicos

1.6.1. Funcionalidad de la sal en los productos curados

Las tendencias actuales del mercado y las nuevas tecnologías utilizadas para la obtención de los productos cárnicos están modificando significativamente los procesos de elaboración. Actualmente el salado se realiza no solo para prolongar la conservación de los productos, sino que busca además obtener productos con una óptimas características organolépticas que favorezcan la aceptación de los productos cárnicos.

La sal se utiliza ampliamente en la industria alimentaria dado su bajo coste y a las importantes funciones que ejerce en los alimentos. Cabe destacar que la sal es un potenciador del sabor debido a su poder como agente pro-oxidante que incide en el enranciamiento oxidativo de los lípidos ya que además tiene la capacidad regular actividades enzimáticas específicas responsables de producir una serie de productos finales tales como aminoácidos libres y péptidos implicados en el aroma y en la percepción del sabor(Albarracín et al., 2011). También es importante el efecto depresor que tiene la sal sobre la a_w , lo que permite controlar el crecimiento microbiano. Por otra parte, la sal afecta a la capacidad de retención de agua del producto lo que incide directamente en la textura.

1.6.2. Implicaciones nutricionales de la sal en la dieta

Tal y como se ha descrito anteriormente, los productos cárnicos curados tiene un alto valor nutricional, sin embargo, destacan también por su elevado contenido en sal. Este elevado contenido en sal hace que este tipo de productos sean uno de los alimentos que más contribuyan al aporte de sodio en la dieta. El contenido en sodio de los productos cárnicos es variable, según la formulación y proceso de elaboración, pudiendo superar los 1400 mg de sodio por cada 100 g en productos como panceta (INFOCARNE, 2017)

El exceso de sodio ha sido relacionado directamente con enfermedades como la hipertensión arterial, e indirectamente con otras enfermedades de carácter renal, obesidad, riesgo de accidente cerebrovascular, cáncer de estómago, etc. (Dahl, 1972; Law, 1997 citados por Guàrdia, 2008). La hipertensión arterial está ligada a un mayor riesgo de infarto y muerte por enfermedades cardiovasculares (AESAN, 2011). Según la OMS, las enfermedades cardiovasculares son la causa principal de muertes en los países desarrollados, donde la hipertensión arterial constituye uno de los problemas de salud pública más preocupantes de las últimas décadas. (Rodríguez Marquina, 2003).

El consumo medio de sal de los españoles duplica lo recomendado por la OMS, siendo la principal fuente (aproximadamente un 70%) los alimentos procesados y consumidos fuera del hogar los que se conoce como “sal oculta”.

La OMS recomienda que la ingesta máxima de sal diaria sea de 5 g, de manera que por cada 2,5 g de sal se toma 1 g de sodio. Estableciendo esta recomendación como objetivo las autoridades sanitarias estiman que se podría evitar cada año 20.000 accidentes cerebrovasculares y 30.000 eventos cardíacos.

La Comisión Europea estableció ya en el año 2008 iniciativas para que cada estado miembro pudiera lograr una reducción de sal de al menos un 16% en todas las categorías de alimentos.. Así mismo el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad a través de la AECOSAN desarrolló a finales del año 2008 un plan de Reducción del Consumo de Sal (PRCS) para alcanzar estas recomendaciones de la OMS respecto de la ingesta de sal en la población.

En 2012 la AECOSAN estableció un acuerdo con la Confederación Española de Detallistas de la Carne (CEDECARNE) y la Asociación de Fabricantes y Comercializadores de Aditivos y Complementos Alimentarios (AFCA) para reducir en los 2 años siguiente un 10 % del contenido medio de sal en diversos productos de carnicería y charcutería elaborados y vendidos en los comercios minoristas.

Por todos estos motivos, la industria alimentaria tiene la responsabilidad de encontrar alternativas para la reducción de sodio en los alimentos proporcionando además información al consumidor para alentarlos a usar menos sal durante los procesos de cocinado.

1.6.3. Alternativas para reducir el contenido de sal en los alimentos

Tal y como se ha comentado anteriormente, la sal juega un papel muy importante en los productos cárnicos, no solo para el desarrollo de unas características organolépticas adecuadas sino para garantizar la seguridad del producto. Es por ello que las estrategias dirigidas a la eliminación o reducción de la cantidad de sal en estos productos deben ser estudiadas en cada caso ya que podrían producirse defectos en el producto acabado, como texturas blandas o sabores desagradables, y problemas microbiológicos (Toldrá, 2006). En la actualidad, las industrias alimentarias dirigen sus estrategias principalmente a la sustitución parcial de la sal del producto por sales con bajo contenido en sodio o a la simple reducción de la sal empleada, con pequeñas reducciones graduales del orden del 5 al 10% respecto a los niveles convencionales. Estas estrategias permiten reducir el contenido de sodio en el alimento sin que el consumidor perciba diferencias significativas en los atributos sensoriales del mismo respecto a los productos convencionales.

Para alcanzar este objetivo, el procedimiento más empleado es el uso de sales alternativas al cloruro sódico, entre las que destaca el cloruro potásico y en menor medida el cloruro de calcio o magnesio. Estas sales, debido a la presencia del ión cloruro, mantienen la fuerza iónica de sal, permitiendo también la solubilidad de las proteínas y la retención del agua (Aliño et al., 2010). El KCl es la mejor alternativa al NaCl, ya que ambas sales tienen propiedades químicas similares. Sin embargo, la sustitución parcial del NaCl por KCl está limitada ya que, tal y como ha sido documentado en numerosos estudios, las propiedades sensoriales de los productos se ven afectadas. En general, se considera que la presencia de más de un 50% de cloruro potásico respecto al total de sal añadida, puede reducir el sabor salado y puede provocar la aparición de sabores amargos y metálicos, por ello el empleo de mezclas de 60/40 de NaCl y de KCl es un buen método (Guàrdia et al. 2008). Con el objetivo de evitar estos problemas se está investigando el uso de la adenosina 5'-monofosfato como bloqueante del gusto amargo que aporta el KCl. Este compuesto permite bloquear la activación de gustducina (proteína G, específica del sentido del gusto) evitando que la célula receptora envíe la información al cerebro sobre el estímulo amargo, de tal forma que se puede compensar el sabor amargo del KCl. (Tárrega, 2011)

La utilización de lactato potásico es otra de las alternativas para conseguir reducir el contenido de sodio de los alimentos procesados. El lactato de potasio tiene una funcionalidad similar a al cloruro sódico, prolongando la vida útil de los productos elaborados, ya que ejerce cierto efecto inhibidor del crecimiento microbiano y los cambios oxidativos. Sin embargo, el lactato de potasio puede dar lugar a sabores y aromas anómalos (regusto amargo), por lo que se recomienda que sea empleado en mezclas con NaCl donde no se supere el 50% de lactato en la formulación final (Guàrdia, 2008)

Los fosfatos también son utilizados ya que aportan menos cantidad de sodio que el NaCl. Por ejemplo, el polifosfato sódico aporta un 31,24% mientras que el NaCl 39,34% de sodio. El CaCl_2 y el MgCl_2 son utilizados como sales sustitutivas ya que además ayudan al consumidor a aumentar la ingesta diaria de calcio y magnesio. Sin embargo esta se limita por su sabor amargo, sabores desagradables, o sensaciones metálicas y astringentes (Aliño et al., 2010)

Otra de las alternativas con gran potencial para su aplicación en la industria cárnica es el uso de potenciadores del sabor. Los potenciadores del sabor estimulan especialmente los receptores del sabor, conocido como «umami».

El glutamato monosódico es probablemente el potenciador del sabor más frecuentemente utilizado ya que mejora equilibrio e impacto gustativos de los alimentos. Permite reducir la sal hasta un 30% siendo un complemento de la sal que mantiene el mismo nivel de sabor

Entre los potenciadores de sabor, otra solución factible para obtener un producto bajo en sal es la utilización de extracto de levaduras. El uso de estos extractos permite reducir entre un 40% y un 60% la sal sin que el consumidor vea afectada la palatabilidad la sensación en boca o la autenticidad del sabor. (Viadel, 2012).

La optimización de la forma física de la sal es otra técnica que permite reducir la cantidad de NaCl mediante diferentes métodos. En este sentido, el menor tamaño de los cristales de sal consigue una percepción más rápida del sabor salado y por tanto, para obtener una misma intensidad de sabor salado en el alimento cuando se emplea las de menor granulometría sería necesario incorporar una menor cantidad de sal en el producto (Rodríguez Marquina, 2003) . Para producto crudo-curado donde no hay adición de agua en su formulación la forma de sal en escamas es muy adecuada ya que tiene una mayor solubilidad que en forma granular. (Viadel, 2012).

1.7. Técnicas de análisis de imagen

Los productos cárnicos secos, como el salchichón, el chorizo, el lomo seco o el jamón curado, entre otros, son productos de alta calidad y aceptación por los consumidores en España y en

otros países mediterráneos. Se han desarrollado varias técnicas para medir objetivamente los rasgos de calidad de estos productos. Una parte significativa de las técnicas utilizadas son invasivas, por lo que la estructura del producto se ve afectada. Es por ello que se están desarrollando técnicas no destructivas para evaluar la calidad de los productos cárnicos secos que afectan mínimamente su estructura (Damez y Clerjon (2008) citado por Corona, 2013). Tales técnicas como la resonancia magnética nuclear (RMN), tecnologías de rayos X, espectroscopia infrarroja cercana (NIRS) y ultrasonido. La implementación de dichas técnicas en la industria cárnica podría llevar a un mejor control no sólo de las materias primas sino a su vez de los productos intermedios y finales.

Los métodos tradicionales de control de procesos y calidad conllevan problemas ya que la mayor parte de estos métodos están basados en el uso de técnicas de muestreo estadístico y análisis destructivos, con el inconveniente de que precisan de tiempos relativamente prolongados de análisis (Arguelles, 2008).

Los análisis no destructivos en general tienen como objetivo, no solo incrementar la velocidad de análisis, sino a su vez reducir la dependencia de reactivos, procesamiento y/o derivatización de las muestras, analizándose cada una de las unidades de un lote, evitándose la incertidumbre intrínseca de los muestreos estadísticos (Kondo, 2010 citado por Verdú, 2016)

En ciertos sectores es fundamental la monitorización de determinadas operaciones ya que permite corregir en tiempo real las condiciones reduciéndose mermas, manteniendo los niveles de seguridad, disminuyendo costos y en general optimizando el proceso.

Se ha obtenidos buenos resultados en técnicas de formación de imágenes hiperespectrales que proporcionan información espacial, como sistemas de imágenes regulares, junto con información espectral para cada píxel de la imagen. Con esta información se forma entonces un "hipercubo" de tres dimensiones que puede analizarse para determinar características físicas y químicas menores y / o sutiles en una muestra.

Se están obteniendo grandes resultados en resonancia magnética nuclear la cual da una información más detallada del compuesto ya que permite detectar y diferenciar simultáneamente diferentes compuestos en alimentos de manera inequívoca. Permite determinar multitud de compuestos relacionados con las características físico-químicas de carne, pescado, vegetales, vino, lácteos entre otros. Constituye una técnica de alta versatilidad siendo posible la identificación de centenares de metabolitos sin separación previa. Además la espectroscopia de RMN se puede aplicar tanto a muestras líquidas como sólidas siendo una técnica reproducible y rápida si bien presenta únicamente los inconvenientes del alto coste de instrumentación y sensibilidad limitada. (Romero- Pérez, 2016)

La principal ventaja del uso de las técnicas MRI y rayos-X es la posibilidad de adquirir imágenes del interior del producto. Sin embargo, su elevado coste, su dificultad para aplicarlos en trabajos “online” y, en algunos casos, los riesgos asociados a su empleo (p.e. en el caso de las imágenes por rayos-X) hacen que la aplicación de estas tecnologías sea complicada aunque se han dado buenos resultados en componentes como la soja, en masas panarias congeladas (Simmons & Vodovotz, 2012)

Por ello, que el análisis de imagen por segmentación, en algunos casos, puede ser una herramienta útil y barata, a la vez que eficaz y rápida. Esta ha sido aplicada en la caracterización de tejidos de jamón con la finalidad de cuantificar las áreas de este a fin de controlar el proceso de salado en función de la difusividad a través de estos tejidos (Sánchez-Salmerón et al., 2008, en la caracterización de tejido graso y magro de salmón ahumado con la finalidad de evaluar la caducidad de este (Ivorra et al., 2013), así como en la detección del ojo de dorada para evaluar su frescura en este (Ivorra et al., 2016).

2. Objetivo y plan de trabajo

2.1. Objetivo

El objetivo general del presente trabajo es desarrollar un nuevo proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua para obtener lomo curado con y sin sustitución parcial de cloruro sódico por cloruro potásico.

Con el fin de alcanzar este objetivo se han planteado los siguientes **objetivos específicos**:

- Estudiar la evolución de las mermas del producto durante el proceso de curado empleando las bolsas permeables al vapor de agua.
- Determinar la adecuación del nuevo procedimiento para obtener un producto curado con características físico-químicas similares a los productos comerciales.
- Estimar las posibles diferencias en los parámetros físico-químicos, textura y color existentes entre los lomos curados, con y sin sustitución parcial NaCl por KCl.
- Evaluar las características de los lomos mediante la técnica no destructiva de segmentación de imagen
- Establecer la aceptabilidad sensorial de los productos obtenidos.

2.2. Plan de trabajo

Para alcanzar los objetivos propuestos se ha establecido el siguiente plan de trabajo:

1. Búsqueda bibliográfica sobre las condiciones de salado y curado de lomo curado mediante los procesos tradicionales.
2. Llevar a cabo en proceso de elaboración de los lomos de cerdo curado, incluyendo preparación de la materia prima, realización del salado y monitorización del proceso de curado.
3. Caracterización fisicoquímica del producto curado obtenido.
4. Análisis con técnica de imagen del producto curado obtenido.
5. Análisis estadístico de los datos e interpretación de los resultados obtenidos.
6. Redacción del informe final.

3. Material y métodos

3.1. Material y equipos

- Balanza Kern modelo EG 220-3NM (Kern & Sohn, Balingen, Alemania).
- Cámara de secado Binder con convección forzada modelo FD 115 (Binder GMBH, Tuttlingen, Alemania).
- Centrífuga Eppendorf modelo 5810 R (Eppendorf, Hamburgo, Alemania).
- Envasadora de campana Tecnotrip mod. EV-25-CD (Barcelona, España).
- -Bolsas tublin
- Clorurímetro Sherwood modelo 926, precisión de ± 3 mg Cl-/L (Sherwood, Cambridge, Reino Unido).
- Congelador Eurofred modelo CF700 (Eurofred, Barcelona, España).
- HP laser jet Pro MFP M125 –M126 PCLms
- Cortadora S&P modelo Master-N Sand P
- Estufa de secado Binder con convección forzada modelo FD 53 (Binder GMBH, Tuttlingen, Alemania).
- Frigorífico Liebherr modelo Profiline (Liebherr-Internacional, Deutschland GmbH, Biberach an der Riss, Alemania).
- Desecador
- Papel de filtro
- Fotocolorímetro Minolta CM 700-d (Osaka, Japón).
- Homogeneizador Ultraturrax modelo IKA T-25 digital (IKA-Labortechnik, Staufen, Alemania).
- pH-metro Crisol Basic 20+, con electrodos de punción para productos sólidos (Crisol Instruments S.A., Barcelona, España).
- Texturómetro Stable Micro Systems modelo TEXTURE ANALYZER-TA-XT2
- Unidad de destilación por arrastre de vapor Pro Nitro M, SELECTA (Barcelona, España).
- H prensa universal TA-XT2[®] (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK).

3.2 Materia prima

En el presente estudio se emplearon lomos frescos (músculo *Longissimus dorsi*) de cerdo adquiridos en un comercio de la ciudad de Valencia. El peso promedio de estos lomos fue de 3529 ± 448 , con la misma fecha de sacrificio. La materia prima fue en todo momento almacenada bajo condiciones de refrigeración a 4 °C hasta el inicio de las experiencias.

Para la caracterización fisicoquímica de la materia prima, se los lomos para determinar su contenido en humedad y pH.

El proceso completo de salado-curado se realizó dentro de bolsas permeables al vapor de agua, que fueron suministradas por TUB-EX Aps (Taars, Dinamarca) (Tublin® 10, size 500 x 1000, 50µ; velocidad de transmisión del vapor de agua: 5000 g/50 µ/m²/24 h, 38°C/50% HR).

Las sales empleadas fueron cloruro sódico (NaCl) (Scharlab S.L., Barcelona, España) y cloruro potásico (KCl) (Panreac Química S.L.U., Barcelona, España). Los agentes de curado utilizados, nitrato potásico (KNO₃) y nitrito sódico (NaNO₂) fueron suministrados por VWR Ltd. (Leuven, Bélgica).

En este estudio se analizaron también productos comerciales con el objetivo de comparar las características fisicoquímicas de los productos obtenidos por este nuevo procedimiento con los productos actualmente presentes en el mercado. En los lomos comerciales se analizaron los parámetros humedad, sal y a_w .

3.3 Preparación de la muestra

El proceso de elaboración de lomos curados se empleó un nuevo procedimiento de salado-curado controlado empleando bolsas permeables al vapor de agua. El proceso de salado controlado consiste en dosificar una cantidad de mezcla de sales previamente establecida sobre la superficie del lomo con el fin de obtener valores de a_w , contenido en cloruros y humedad similares a los de los productos comerciales (Aliño et al., 2009a).

El proceso de salado-curado se llevó a cabo empleando dos sales diferentes, una sal formada únicamente por cloruro sódico (NaCl) y agentes de curado (nitrito sódico y nitrato potásico) y una mezcla de NaCl y KCl en relación 1:1 que también contenía los agentes de curado (NaCl-KCl). La cantidad de agentes de curado en ambas formulaciones fue la misma, 150 ppm de nitratos, en forma de nitrato potásico y 150 ppm de nitrito, en forma de nitrito sódico (en relación al peso de la materia prima). La incorporación de estas sales de curado se realiza con el fin de prevenir el desarrollo de microorganismos patógenos (Toldrá, 2006).

Tal y como se ha comentado anteriormente, los lomos fueron salados empleando un proceso de salado controlado donde se dosificó la cantidad exacta de sal necesaria para que al finalizar el proceso, y una vez absorbida completamente la sal dosificada, el producto alcanzara una concentración de cloruros expresada en base seca igual a la concentración fijada como objetivo ($X_{obj}^{Cl^-}$). Este valor objetivo fue establecido considerando un valor de humedad en el producto final similar a los productos comerciales y asumiendo que toda la sal dosificada iba a penetrar en el producto. En el cálculo de la cantidad de sal a dosificar se empleó la ecuación (1) donde se

consideró el peso de cada una de las piezas de lomo (M_0), la concentración de cloruros final ($X_{obj}^{Cl^-}$) y la humedad inicial de cada uno de los lomos (x_0^w).

$$M^{Cl^-} = X_{obj}^{Cl^-} \cdot M_0(1 - x_0^w) \quad (1)$$

Antes de proceder al salado, los lomos fueron pesados y la cantidad de sal a dosificar fue calculada individualmente para cada uno de ellos. Los lomos se introdujeron en bolsas permeables al vapor de agua y sobre ellos se depositó, de la forma más homogénea posible, la cantidad de sal calculada y, a continuación, los lomos se envasaron a vacío. En este sentido, hay que señalar que el uso del envasado vacío sólo se empleó con el fin de asegurar un buen contacto entre la carne y el material de envasado, ya que el vacío no se mantiene a lo largo del proceso, debido a la permeabilidad de la bolsa. A continuación, los lomos se llevaron a una cámara de humedad relativa (HR) y temperatura (T°) controlada donde permanecieron durante todo el proceso de salado-curado. Durante este proceso las condiciones de la cámara se fueron modificando para conseguir un salado adecuado de las piezas, con la intención de evitar el encostramiento y conseguir un secado lo más homogéneo posible. Las condiciones de temperatura y humedad relativa empleadas en las diferentes etapas del proceso se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Condiciones de temperatura y humedad relativa (HR) en las diferentes etapas del proceso de salado curado.

Etapa	T°	HR	Duración	Tiempo transcurrido desde el inicio
Salado	3 °C	90%	48 h	2 días
Post-salado	3 °C	85%	6 días	8 días
	3 °C	78%	9 días	17 días
	8 °C	73%	11 días	28 días
	8 °C	65%	9 días	36 días
	12 °C	65%	9 días	45 días
	20 °C	65%	-	-

A lo largo del proceso, los lomos fueron pesados periódicamente con el objetivo de registrar las pérdidas de peso y estableciendo el punto final del curado cuando los lomos presentaron una pérdida de peso total del 40%.

Una vez finalizado el proceso los lomos se sacaron de las bolsas permeables y fueron envasados a vacío y almacenados en condiciones de refrigeración hasta el momento de análisis.

3.4 Determinaciones analíticas

3.4.1. Humedad

La determinación de humedad se realizó según el método de la AOAC 950.46 (AOAC, 1997). Para ello se pesaron aproximadamente 10 g de arena con la varilla de cristal en flaneras, se secaron en una estufa (J.P. Selecta, S. A., Barcelona, España) a 103 ± 2 °C durante 24 h. A continuación, tras atemperar en un desecador, las flaneras se pesaron en una balanza analítica (m_0). Luego se trituraron las muestras, y se añadieron 5 g en cada flanera, pesándose el contenido de nuevo en una balanza analítica (m_1). Se homogeneizó la muestra con la arena de mar usando la varilla de cristal, con ello ayudaremos a extraer el total del agua. Se introdujeron las flaneras en la estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 24 h. Después de este periodo, se extrajeron, atemperaron y pesaron de nuevo en la balanza analítica (m_2).

El porcentaje de humedad de la muestra se obtuvo mediante la siguiente ecuación

$$\% \text{Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

Donde:

m_0 = masa de flanera más arena y varilla (g).

m_1 = masa de la flanera más arena, varilla y muestra antes de la desecación (g).

m_2 = masa de la flanera más arena, varilla y muestra tras la desecación (g).

3.4.2 pH

Para determinar el pH se empleó un pHmetro Crison micropH 2001 (Crison Instruments S.A, Alella, Barcelona, España) con un electrodo de punción acoplado. Se realizaron 6 lecturas en distintos puntos de cada muestra, para obtener a continuación el valor promedio.

3.4.3. Contenido en cloruro

Para la determinación de la concentración de cloruros en las muestras se empleó un analizador automático de cloruros, Sherwood, modelo 926 (Sherwood Scientific, Ltd., Cambridge, UK) Chloride Analyser). Para ello, se homogenizaron 0.5 g de lomo con agua destilada empleando un Ultra-turrax modelo T25 a 10000 rpm durante 2 min y se centrifugo a 1000 rpm durante 10 min. A continuación, el extracto se filtró y se cogieron 500 µL de extracto para el análisis. A partir de la lectura dadas por el equipo se calculó la concentración de cloruro en las muestras mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Cloruros} = \frac{\text{Lectura} \cdot V}{m \cdot 10^3}$$

Donde:

Lectura = valor dado por el equipo (mg Cl-/L).

V = volumen de la disolución (L).

m = masa de la muestra (g).

3.4.4. Actividad de agua (a_w)

Para la determinación de la actividad de agua (a_w) se utilizó un higrómetro de punto de rocío Aqualab® CX-2 (Decagon Devices, WA, USA). Las muestras previamente trituradas se colocaron en un porta muestra y se midió por lectura directa el valor de a_w . Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

3.4.5. Propiedades mecánicas

Análisis de doble compresión (Texture Profile Analysis, TPA)

El ensayo de TPA simula el movimiento de una mandíbula durante la masticación, es por ello que esta determinación nos proporciona información sobre el modo que el consumidor percibe el producto durante la masticación. En el ensayo de doble compresión se utilizó un émbolo (P/75, ANAME) plano y circular de 7,5 cm de diámetro, que comprimió dos veces consecutivas la muestra hasta alcanzar un 50% de su altura, a una velocidad de 0,8 mm/s. Para este ensayo, las muestras se cortaron en porciones de dimensiones de 1 x 1 x 2,5 cm.

Durante el ensayo el equipo registra la fuerza necesaria para comprimir la muestra bajo las condiciones establecidas y la representación de estos valores da lugar a un curva fuerza/desplazamiento. El análisis de las curvas fuerza/desplazamiento dadas para este ensayo permitió obtener los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad de las muestras.

3.4.6 Color.

Para la determinación se empleó un espectrocolorímetro Minolta CM 700-d (Osaka, Japón), utilizando como sistema de referencia el iluminante D65 y el observador 10°. Este equipo permite una medida objetiva del color, a través de la cuantificación de la luz reflejada por la muestra. Previamente se procedió a una calibración del blanco y del negro, y se seleccionó el sistema de referencia deseado.

La determinación, expresión e interpretación del color se efectuó utilizando las tres coordenadas colorimétricas L^* (claridad o luminosidad), a^* (desviación hacia el rojo y el verde) y b^* (desviación hacia el amarillo y el azul) del sistema CIEL*a*b* (CIE, 1976).

3.4.7. Evaluación sensorial

Los lomos obtenidos fueron evaluados por un panel compuesto por 9 catadores entrenados. El panel estaba formado por 2 mujeres y 3 hombres, miembros del Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universtat Politècnica de Valencia. Este panel fue seleccionado y entrenado con anterioridad según los criterios establecidos en la norma ISO 8586:2012 (AENOR, 2014). Los miembros de este panel entrenado habían participado en estudios similares con anterioridad, por lo que no fueron sesiones de entrenamiento específicas para este trabajo.

Los atributos a evaluar fueron seleccionados a partir de otros estudios realizados a cabo para el análisis de otros productos curado de cerdo y en trabajos sobre la sustitución de sodio en este tipo de productos (IRTA, 2006; Sanchez, 2005).

En la evaluación sensorial de las muestras de lomo se empleó un Análisis Cuantitativo Descriptivo (QDA) donde se evaluaron el aspecto (apariencia), textura y aroma de las muestras del producto. La valoración de los descriptores se efectuó empleando una escala no estructura de 10 cm, donde los extremos indicaban la ausencia del atributo evaluado y la máxima manifestación del mismo. La ficha de análisis empleada en esta evaluación se muestra en el anexo 1.

Este análisis se llevó a cabo en una única sesión de cata donde las muestras de lomo se presentaron a los catadores porciones de 2 x 2 cm, obtenidas de la zona central de las lonchas de lomo de 2 mm de espesor. Las muestras fueron presentadas a los catadores por separado, codificadas con números aleatorios de tres cifras y en orden aleatorio.

3.4.8. Análisis de imagen

El análisis de imagen fue aplicado al estudio de las muestras de lomo con el objetivo de obtener información sobre las propiedades de color del producto acabado. La diferencia con respecto al análisis de color tradicional es que este analiza puntos localizados de la muestra, mientras que con análisis de imagen se obtiene información multivariable de la loncha completa. Dicha información se utilizó para estudiar la variabilidad de color entre las diferentes sales (comparación entre muestras Na^+ y $\text{Na}^+ + \text{K}^+$), así como la variabilidad de color recogida dentro de cada loncha en función del nivel de secado de cada zona de la misma (zonas centrales y zonas externas de migración de agua y entrada de sal).

Las lonchas se obtuvieron mediante el loncheado transversal de la zona central de los lomos con una lonheadora Metal Master N-SP con grosor constante (0.5 cm). Las imágenes fueron

adquiridas mediante un escáner CanoScan LiDE 50 con la ayuda de un fondo negro, obteniéndose un total de 12 imágenes por lomo. Las dimensiones constantes de las imágenes fueron de 3264×2448 píxeles en formato JPEG. Una vez obtenidas, las imágenes fueron transformadas a formato 8 bits (escala de grises) y se calcularon los histogramas de frecuencias en número de píxeles para cada valor de gris (desde negro hasta blanco absoluto: 255 valores de gris) en cada loncha. Esta información fue la utilizada para el análisis multivariable (255 variables).

4 Resultados y discusión

4.1. Caracterización de la materia prima

En primer lugar se llevó a cabo la determinación de humedad y pH del lomo de cerdo fresco con el objetivo de establecer los valores de partida de la materia prima. Para ello se emplearon porciones de carne obtenidos de lomos diferentes adquiridos en el mismo establecimiento donde se adquirió el lomo que sería empleado para llevar a cabo el proceso de curado.

Los valores de humedad promedio de esas porciones se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Valores de humedad y pH obtenidos en la caracterización del lomo fresco empleado como materia prima (n=3).

Parámetros analizados	
Humedad (g/100 g)	75.58 ± 0,39
pH	5,60 ± 0,03

Los valores de humedad y pH obtenidos en esta caracterización coinciden con los valores habituales para este tipo de carne. El lomo de cerdo presenta habitualmente valores de humedad altos, cercanos al 73-74% (Hayes et al., 2006; Hernandez et al., 1999) y un contenido en grasa bajo, próximo al 1%, comparado con la carne procedente de otras zonas del animal. Sin embargo, hay que considerar que estos valores pueden variar dependiendo de la especie, sistema de cría, alimentación, la época del año, temperatura del medio donde se desarrolla, etc (Lebret, 2002), en este sentido los valores obtenidos en la caracterización de la materia prima empleada en este estudio podrían considerarse dentro de los valores habituales para este tipo de carne.

Respecto a los valores de pH de la carne empleada en el presente estudio presentó valores alrededor de 5,6. Hay que señalar que el pH post-mortem de la carne es un parámetro especialmente importante para garantizar la calidad del producto curado, ya que este parámetro está directamente asociado a la capacidad de retención de agua del músculo y por tanto, afecta de manera importante a la pérdida de peso en forma de exudado durante su conservación y procesado posterior. En este sentido, carnes con valores muy bajos de pH (inferiores a 5.4), lo que se conoce como carnes PSE (carne pálida, blanda y exudativa), se deterioran rápidamente y dan lugar a productos de una calidad muy baja calidad (Bee et al., 2007; Cannata et al., 2010). Los productores recomiendan valores de pH (a las 24 h post-mortem) entre 5.5 y 6.1 (Lesiów & Xiong, 2013), por lo que puede considerarse que todos los lomos empleados en el presente trabajo presentaron unas valores adecuados respecto a este

parámetro. En general, se recomienda la selección del producto, será recomendable evitar aquellos jamones con $\text{pH} > 6,2$ por razones de seguridad microbiológica, con el fin de mejorar la salazón y evitar problemas de aspecto y de textura blanda (Mora, 2010).

4.2. Pérdida de peso durante el proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua

Durante el proceso de curado empleando las bolsas permeables al vapor de agua (WP), los lomos se pesaron periódicamente con el objetivo de determinar la pérdida de peso de las muestras y establecer el final del periodo de secado. Se consideró el final del proceso de secado cuando las porciones de lomo registran una pérdida de peso superior al 40 % respecto al peso inicial, lo que correspondería a una humedad final del producto cercano al 50%. En la actualidad, las industrias dedicadas a la elaboración de productos curados suelen dar salida al mercado a productos, como el lomo curado, con un porcentaje de mermas en torno al 35%, cuando se destinan al consumo en hogares, mientras que, para hostelería, se suelen alcanzar porcentajes de mermas mayores, en torno al 40% (Ventanas, 2006).

En los productos que se comercializan actualmente en el mercado, el proceso de salado-curado se estima en aproximadamente en unos 3 meses de curado, pudiendo variar la duración del proceso completo según características propias de la materia prima y las características que se busquen en el producto final. En el presente estudio con el ejemplo de las bolsas WP, el tiempo máximo en alcanzar las mermas establecidas fue de unos 60 días (Figura 4.1). Se observaron diferencias entre los tiempos de curado en función del tipo de sal, de manera que el tiempo de procesado de los lomos salados con 100% NaCl osciló desde los 49 hasta los 56 días, mientras que el tiempo de curado de los lomos salados con la mezcla de sales varió desde los 51 hasta los 60 días. Tal y como cabría esperar, se observaron también ligeras diferencias en función del tamaño de las piezas, de manera que en las piezas con un menor calibre la salida de agua del producto se produciría más rápidamente que en las piezas mayores, reduciéndose el tiempo de secado.

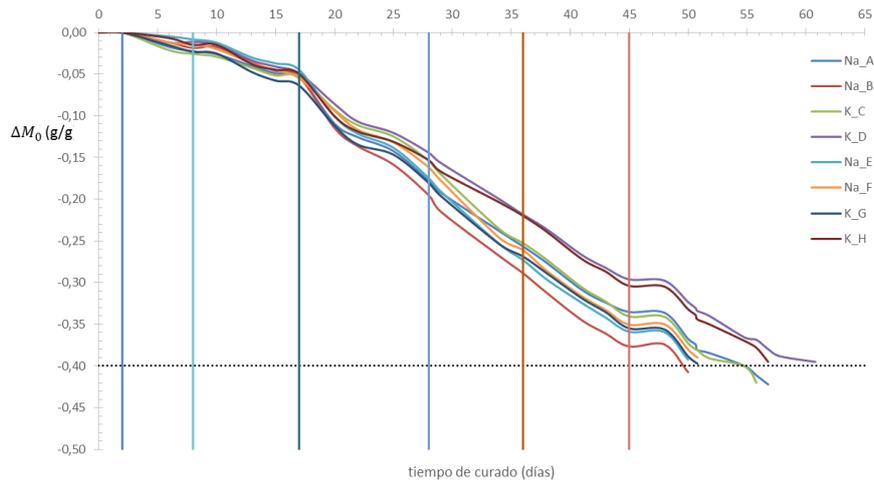


Figura 4.1. Variaciones de peso (valores promedio) de 8 piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl: 50% KCl).

4.3. Parámetros fisicoquímicos de los lomos con y sin sustitución parcial de sodio

Tal y como se ha descrito anteriormente, el salado controlado combinado con las bolsas permeables nos permite reducir el impacto de tiene la diferente velocidad de penetración de los cationes K y Na en el músculo, el hecho de dosificar exactamente la cantidad de sal que va a ser necesaria y forzando la entrada de toda la sal dosificada se minimiza las diferencias en la difusividad de los cationes. El empleo de las bolsas permeables al vapor de agua en el proceso de curado de lomo es especialmente importante desde un punto de vista tecnológico ya que permite realizar el proceso completo en una misma cámara, controlando el secado al modificar las condiciones de HR y temperatura dentro de la misma sin necesidad de emplear diferentes instalaciones ni manipular las piezas

Con el objetivo de determinar el estado del producto una vez alcanzadas las mermas establecidas, se tomaron muestras de cada uno de los lomos en diferentes secciones de las piezas, diferenciando entre la parte central y los bordes de dichas secciones. Esta diferenciación entre centro y bordes se realizó con el objetivo de detectar encostramiento de las piezas y poder conocer la barrera que ejercería la bolsa permeable al vapor de agua a la salida de agua del producto.

El encostrado se define como una capa superficial más dura que el resto de producto y con baja elasticidad. El encostrado se produce debido a una mayor tasa de secado sobre la parte externa mientras que en la parte interna existe un elevado contenido de agua. La difusión del agua desde la zona interna no compensa la deshidratación de la superficie y en consecuencia

ésta se endurece y se forma la costra (Flores, 2001). El encostrado puede producirse, entre otras causas, por un secado muy rápido de la superficie, donde la migración del agua del interior no es suficiente para compensar la deshidratación superficial. Este encostrado puede facilitarse por una materia prima muy magra, en la que el secado es muy rápido o por un pH elevado. Es por ello que para conseguir un secado regular, la cantidad de agua que se evapora debe estar compensada por la difusión de agua del interior del producto al exterior del mismo. Sin embargo, un salado incorrecto puede producir dos problemas que podrían ser el origen de dos de los principales defecto en los productos cárnicos curado, el encostrado y el remelo. El encostrado se produce cuando la velocidad de evaporación es superior a la velocidad de difusión, produciendo un secado excesivo de la superficie del producto, que dificulta el secado posterior. El remelo tiene lugar cuando se produce una condensación superficial o bien el agua que se difunde hacia la superficie es superior a la capacidad de evaporación del aire.

Los valores de humedad de los lomos tras finalizar en proceso de curado se muestran en la figura 4.2

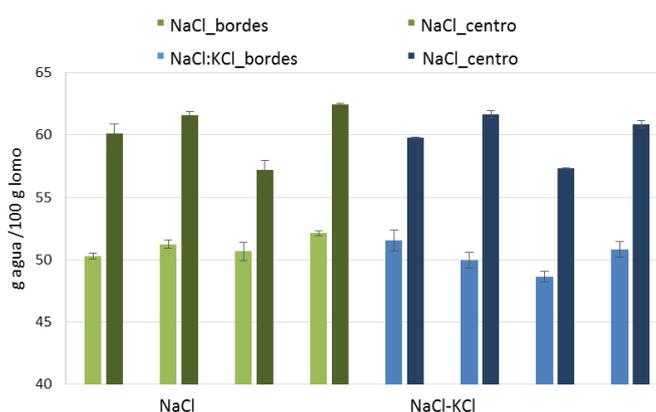


Figura 4.2. Valores de humedad (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).

Se observaron diferencias significativas entre los valores de humedad de la zona central y los bordes de los lomos ($p > 0.001$), siendo estas diferencias independientes del tipo de sal utilizada. Las diferencias de humedad entre centros y bordes fueron cercanas al 10%, lo que evidenciaría la formación de cierto encostramiento en las piezas. Las diferencias entre las zonas centrales y los bordes no fueron superiores al valor de referencia que se establece para el Jamon Serrano. La certificación del Jamón Serrano como Especialidad Tradicional Garantizada (ETG) establece

como defecto de calidad (del pliego de condiciones de la ETG Jamón Serrano el encostrado. En este pliego se indica que el gradiente de humedad entre la parte exterior y la central de la loncha no debe ser superior al 12% (Fundación Jamón Serano, 1998 citado por Ruiz, 2005). Hay se señalar que en el lomo curado no hay valores de referencia para determinar el encostrado del producto.

Los valores de humedad promedio de las zonas centrales de los lomos fueron del 59.9% y 60.3% (g agua/100 g producto) para el lote de lomos salado con 100% NaCl y para 50% KCl-50% NaCl, respectivamente. Mientras que los valores de humedad de los bordes fueron para la sal del 100% NaCl fueron del 50,2% y para el 50% KCl-50% NaCl del 51.1%, no observándose diferencias significativas en función del tipo de sal utilizada ($p>0.05$) en ambas zonas. La ausencia de diferencias en los valores de humedad respecto a este parámetro sería atribuible a que el proceso de secado fue determinado en particular para cada pieza en un nivel establecido de mermas, alcanzándose valores similares de secado en todos los productos. Hay que indicar que los valores de humedad del centro de los lomos fueron superiores a lo que sería deseable a este tipo de producto. Tal y como define Real Decreto 474/2014 por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos, el "lomo embuchado" deberá presentar un valor de humedad máxima de 55.0 g/100 g. Teniendo en cuenta las características físico-químicas definidas en esta norma, sería interesante optimizar las condiciones de curado con el objetivo de conseguir reducir los valores de humedad en el interior del producto final. Hay que señalar que en el mercado existe cierta variabilidad respecto a este parámetro ya que estos valores vienen determinados por las características particulares del producto y los estándares de cada productor. Los datos consultados en bibliografía muestran que los valores de productos de lomo de cerdo blanco comerciales presentan valores en general comprendidos entre el 45 y 49% de humedad (Aliño et al., 2009b; Campus et al., 2008), siendo significativamente inferiores en el caso de los lomos ibéricos curados debido a su mayor nivel de engrasamiento (Muriel e et al., 2004; Soto et al., 2008). En cambio, los valores de humedad dados por (Hernández et al. 1999). Para lomo curado (58.5 g agua/100 g lomo) son similares a los obtenidos en este trabajo para la zona central de los lomos.

Diferencias similares a las observadas en el parámetro de humedad se detectaron también en la concentración del ión cloruro en las muestras de lomo curado. En este sentido, la concentración de ión cloruro de las muestras tomadas de las zonas centrales fueron significativamente inferiores a las concentración del ión en los bordes ($p>0.001$), no observándose diferencias según el tipo de sal utilizada (figura 4.3). Estas diferencias fueron más

acusadas en la expresión de estos valores en base seca (g Cl⁻/100 g materia seca), debido a que los bordes presentaron menores valores de humedad y mayor contenido en sales.

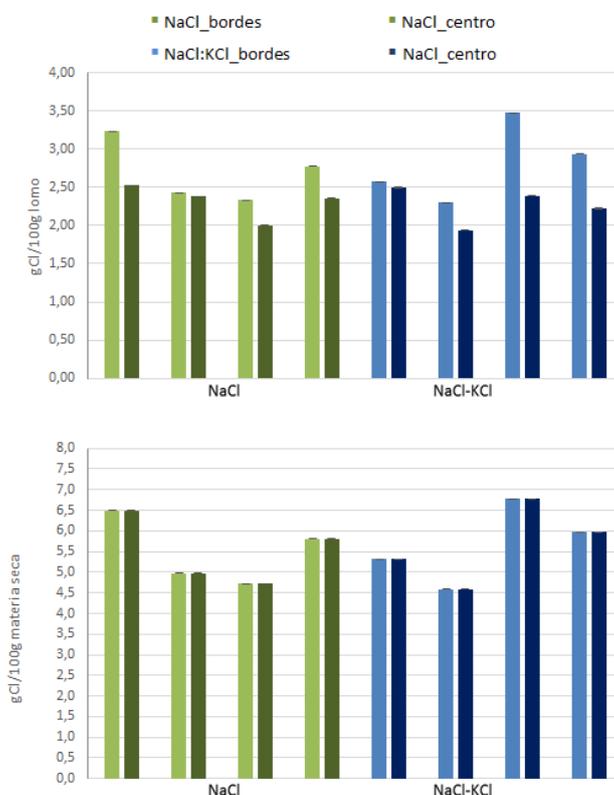


Figura 4.3. Contenido en cloruros expresados en base húmeda y base seca (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl: 50% KCl).

En la figura 4.4 se muestran los valores promedio de sodio y potasio en el producto curado. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas centrales y los bordes de la pieza. ($p < 0.001$). Tal y como cabría esperar estos valores fueron diferentes en función de la sal utilizada. La aplicación del nuevo proceso de salado-curado ha permitido conseguir la reducción del 50% del sodio en el producto final, tal y como se había establecido como objetivo. Estos resultados son especialmente interesantes al compararlos con el uso de sales alternativas al NaCl en los procesos tradicionales, donde no se garantiza que el producto final vaya a mantener esta proporción Na:K, debido a las diferencias de difusividad de ambas sales. El producto bajo en sodio. Es interesante destacar que la relación en el producto con bajo

contenido en sodio fue próximo a 1 (Na:K), lo que supone un ventaja nutricional para este producto.

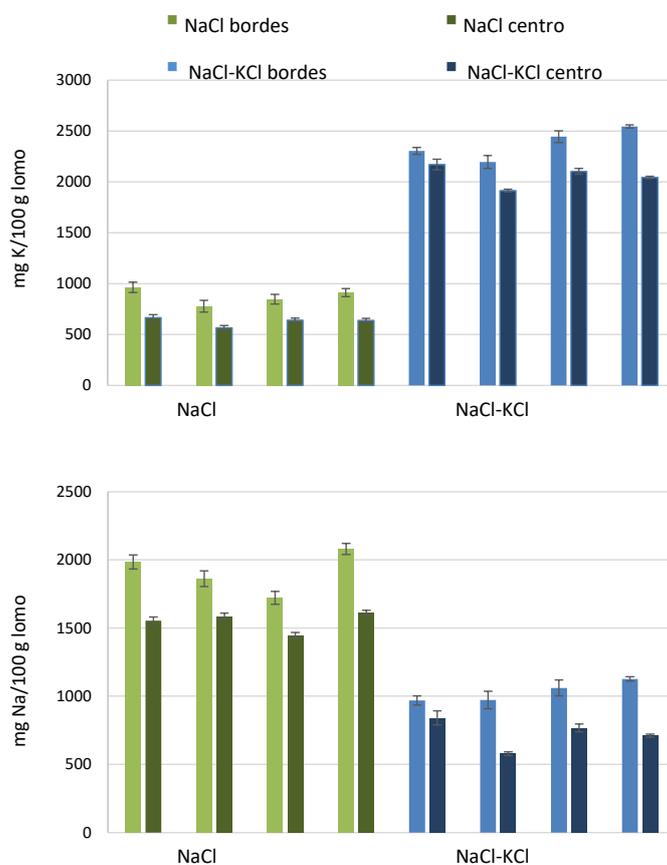


Figura 4.4. Valores de Na y K (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).

Diferentes estudios han puesto de manifiesto que la sustitución de sodio por el potasio podría afectar los fenómenos de transferencia de masa que se producen durante el proceso de salado. En este sentido, diferentes autores han comprobado que la sustitución parcial de sodio por potasio disminuyó la pérdida de agua durante el procesado (Aliño et al., 2009a; Comaposada et al., 2007). Esto podría explicarse por el mayor tamaño del ión K^+ , que tendría más dificultad para penetrar en el músculo. La penetración de la sal en el producto se produce simultáneamente a la salida de agua del mismo, de ahí que en la elaboración de productos curados con sustitución parcial de sodio empleando las técnicas tradicionales dan lugar a productos bajos en sodio pero con mayores valores de humedad o se requieran procesos más largos de curado o dosificar mayores cantidades de sal para alcanzar un valor de a_w adecuado en el producto final. Los resultados obtenidos en este estudio, donde al finalizar el proceso no se han observado

diferencias en los valores de humedad y sal entre los lomos con y sin sustitución parcial de sodio, demuestran que este nuevo procedimiento es una excelente alternativa a los procesos tradicionales para la obtención de productos con contenido de sodio reducido.

La reducción de la humedad y la incorporación de sal en el lomo, comentadas anteriormente, son responsables del descenso de los valores de a_w de la carne durante el proceso de curado. El descenso en los valores a_w en los productos curado es el principal factor que interviene en la conservación de este tipo de productos. El término a_w refleja la disponibilidad de agua que existe en un alimento para reacciones bioquímicas y crecimiento microbiológico. La a_w en la superficie de los productos cárnicos curados depende de la humedad relativa del aire de secado y de la relación entre la transferencia interna y transferencia externa (Gou et al., 2003). Es por ello que es imprescindible controlar los valores de HR durante el procesado para garantizar unos correctos valores de a_w o humedad en la superficie, por encima de aquellos valores críticos que pudieran ocasionar el encostrado de las piezas.

Los valores de a_w del producto obtenido en el centro del producto son ligeramente superiores a los consultados en otros trabajos llevados a cabo con lomo curado, siendo estas diferencias atribuibles principalmente al mayor contenido de humedad en el producto (Aliño et al., 2009b)

El parámetro de a_w es determinante también en la actividad enzimática de los productos cárnicos (Toldra, 1992). Es interesante destacar que durante el procesado de elaboración de los productos cárnicos curados, a medida que disminuye la a_w y aumenta la temperatura, se suceden los fenómenos de proteólisis y lipólisis, importantes para el desarrollo de la textura, aroma y sabor del producto final. En este sentido, la ausencia de diferencias en los valores a_w según el tipo de sal utilizada podría indicar que en ambos casos los procesos bioquímicos determinantes para definir las características sensoriales del producto no se verían afectadas.

En este sentido, diferentes trabajos realizados con jamón curado han establecido que los jamones curados con altos valores de índice de proteólisis presentan menor dureza, mayor cohesividad y elasticidad que aquellos jamones curados con valores bajos de índice de proteólisis. La determinación continua del valor de humedad en la superficie del jamón y lomo curado puede permitir regular los parámetros de secado (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) para mantener el valor de humedad en la superficie por encima del valor crítico de aproximadamente 0,6 para jamón curado y de 0,8 para lomo curado y lograr con ello evitar el encostrado y mejorar la calidad del secado (Ruiz, 2005). Estas medidas van encaminadas a evitar el encostramiento de las piezas de carne durante el procesado.

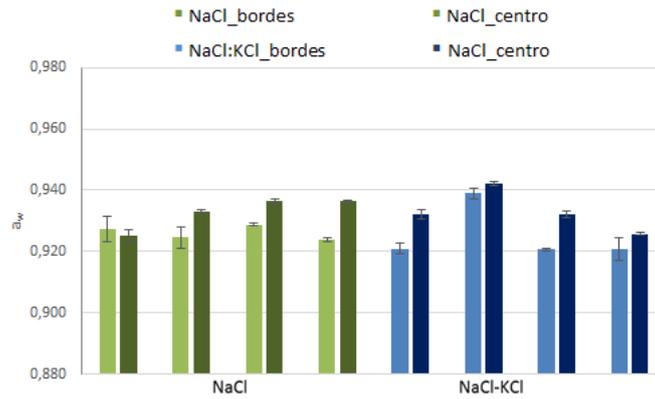


Figura 4.5. Valores de a_w (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).

En general, el proceso de curado provocó el aumento de los valores de pH de los lomos desde un valor de pH promedio de la de la materia prima igual a 5.6, hasta valores que oscilaron desde 5.8 hasta 6.2. Estos valores son similares a los observados por otros autores para este tipo de productos (Sánchez-Moliner, 2003). Durante el procesado, los valores de pH presentan una tendencia a aumentar ligeramente, tanto en superficie como en el interior, a lo largo del proceso (Arnau et al., 1995). El aumento del pH en los productos curados está condicionado por la actividad enzimática que tiene lugar durante el proceso de elaboración de este tipo de productos. La liberación de compuestos alcalinos (moléculas nitrogenadas de bajo peso molecular) a partir de las reacciones proteolíticas que se producen durante todo el proceso de maduración y es la responsable del aumento del pH y de conferir a estos productos sus reconocidas características sensoriales. Además, a diferencia de otros productos cárnicos, en los productos crudo-curados constituidos a partir de piezas de carne identificables anatómicamente (como jamón y lomo) se produce un ligero aumento en los valores de pH (Pérez-Álvarez et al., 1997). En la elaboración de este tipo de productos únicamente se añade cloruro sódico y sales nitrificantes. La carencia de hidratos de carbono en el interior de las piezas hace que el pH se mantenga relativamente estable a lo largo de todo el proceso de elaboración, con valores próximos a 6 (López-Brote et al., 1993). Sin embargo, (Pérez-Álvarez et al., 1997) encontraron un descenso significativo en los valores de pH de lomo embuchado donde se empleó “pimentón” en su elaboración. Estos resultados fueron atribuidos a la carga microbiana del pimentón que puede metabolizar los azúcares presente en este o en los agentes de curado. Resultados similares han sido encontrados en otros derivados cárnicos como “chorizo” (Rosmini

1996) donde la actividad de las bacterias acidolácticas es determinante en la elaboración del producto.

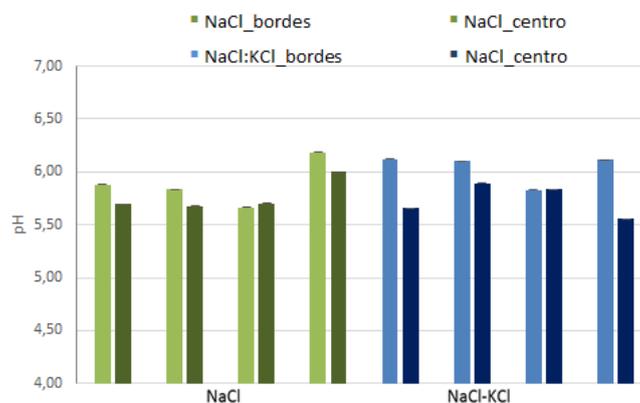


Figura 4.6. Valores de pH (media \pm sd) en las zonas “centro” y “bordes” de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).

El análisis estadístico de los resultados mostró diferencias significativas entre los valores de pH de las zonas centrales y los bordes de los lomos ($p < 0.001$). Sin embargo, tal y como se observa en la figura no puede identificarse una tendencia clara en este sentido. Este parámetro va a presentar una variabilidad mayor en la parte superficial del producto, ya que va a verse afectado por factores como la velocidad de entrada de la sal durante el curado, así como por la velocidad de secado (Sánchez-Molinero, 2003). Otro fenómeno que determina el pH del jamón es la dinámica de precipitación de los fosfatos, que pueden presentar una tendencia a migrar a la superficie durante el secado y reposo de las piezas, especialmente si durante esta última etapa la humedad relativa ambiental es alta (Arnau et al., 2003). En general, la sustitución parcial de sal no afecta a los valores de pH. Estos resultados son similares a los dados en otros estudios, donde se evidenció que la sustitución parcial de sal no afecta al pH del producto cárnico final (Gou et al., 1996; Gelabert et al., 2003).

El análisis de textura de las muestras de lomo saladas con los dos tipos de sales se realizó únicamente en la zona central de las secciones transversales del producto. A partir de las curvas generadas en el ensayo de TPA o doble compresión se calcularon los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, masticabilidad y cohesividad. En la figura 4.7 se muestran los valores obtenidos para cada uno de estos parámetros en función del tipo de sal empleada.

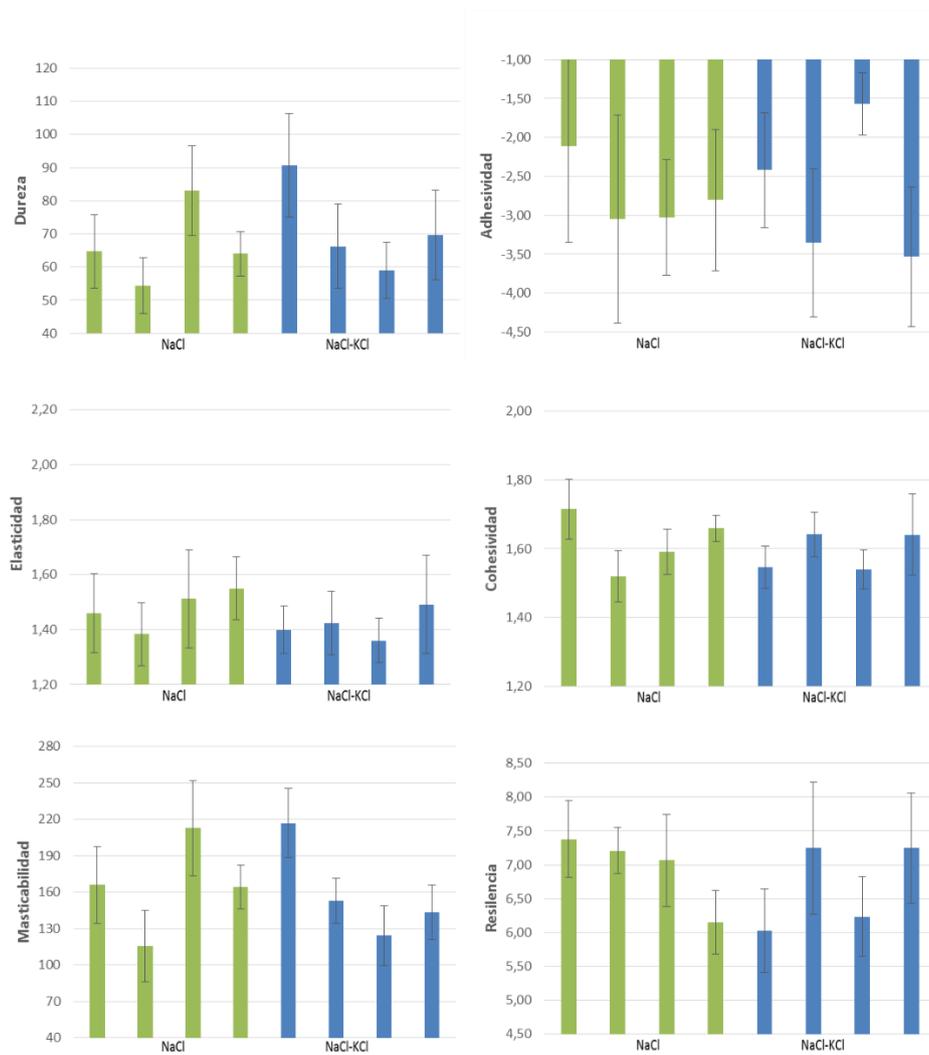


Figura 4.7. Valores dureza,elasticidad, adhesividad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia (media \pm sd) de las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).

El tipo de sal no afectó a ninguno de los parámetros de textura evaluados. Estos resultados coinciden los obtenidos en otros estudios sobre el efecto de la sustitución parcial del cloruro sódico por otras sales en productos curados (Gou et al., 1996; Lorenzo et al., 2015; Aliño et al., 2009a, 2010; Gou. Gou et al. ,1996) concluyeron que la sustitución parcial de NaCl por KCl en lomo curado no afecto a la textura del producto, excepto una ligera reducción de la elasticidad del producto en sustituciones del 50 y 60%. (Aliño et al., 2009a, 2010) observaron diferencias en la textura los lomos curados empleando diferentes sales, únicamente cuando el nivel de sustitución de sodio afectó a los valores de humedad de las piezas. En este estudio los resultados mostraron en un intervalo de humedad entre 1,4 y 1,6 g agua/g materia seca, la dureza y

masticabilidad de las muestras permaneció prácticamente constante, independientemente del nivel de sustitución. Estos resultados indican la importante relación entre el contenido de humedad y la dureza del producto cárnico, ya que durante el secado hay un encogimiento del producto proporcional a la pérdida de agua (Potter, 1986). De hecho, el secado de carne promueve un contacto más estrecho entre proteínas, formándose nuevas interacciones que aumentan la dureza (Randall y Bratzler, 1970).

Los resultados de color obtenidos en el presente estudio se muestran en la figura 4.8.

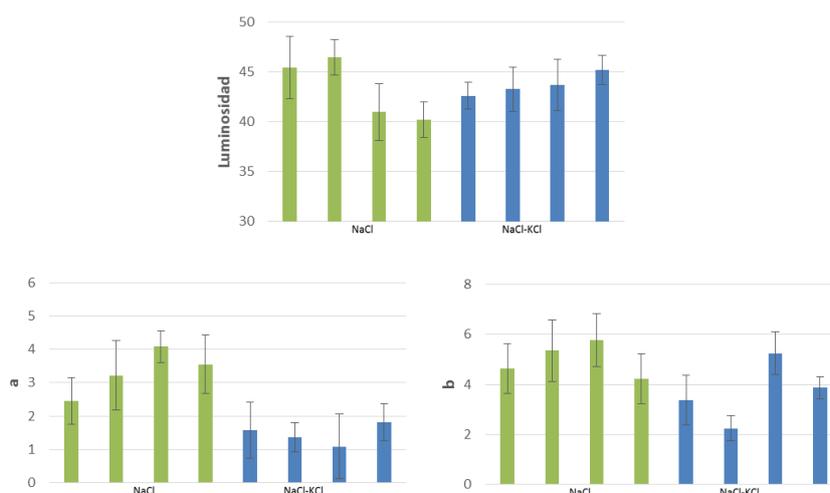


Figura 4.8. Parámetros de color a^* , b^* y L^* (media \pm sd) en las piezas de lomo saladas empleando diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl).

Los valores de luminosidad de las piezas de lomo obtenidos por este nuevo proceso fueron similares a los valores obtenidos en otros estudios. Los valores oscilaron desde 40 hasta 46 no observándose diferencias significativas en función del tipo de sal utilizada ($p > 0.05$). Sin embargo, la sustitución parcial de sodio por potasio en el producto afectó a las coordenadas a y b de las piezas. En este sentido, los lomos salados con 100% NaCl presentaron valores de a y b significativamente mayores que las muestras de lomo saladas con 50% KCl y 50% NaCl.

Los valores a^* fueron similares a los obtenidos por Aliño et al. (2009a) e inferiores a los observados en jamones ibéricos por otros autores (Cava et al., 2009; Carrapiso & García, 2005). En el caso de los productos curados, su coloración se debe fundamentalmente a la formación del pigmento nitrosilmioglobina a partir de la mioglobina muscular, como consecuencia de la adición de nitratos y/o nitritos. Los nitratos son reducidos a nitritos y éstos a óxido nitroso, fundamentalmente por acción bacteriana. Por otra parte la mioglobina y oximioglobina son oxidadas a metamioglobina. Finalmente ésta reacciona con el óxido nitroso para formar nitrosilmioglobina. Se ha observado que aproximadamente de un 20 a un 40% de la mioglobina

sufre transformación a nitrosilmioglobina. La cantidad de nitrosilmioglobina formada depende de la cantidad de mioglobina existente en el músculo, a más mioglobina, el producto tendrá un color más intenso (mayor saturación de color) (Muriel et al., 2003). Es por ello que las diferencias en la coloración de los lomos según el tipo de sal empleada, únicamente podrían justificarse en el caso que el empleo de NaCl o de la mezcla de sales hubiera afectado a la difusión de los agentes nitrificantes incorporados.

4.4. Evaluación sensorial

Los valores promedio de las puntuaciones que los catadores dieron a cada uno de los atributos sensoriales evaluados para las diferentes muestras de lomo, se han representado en el diagrama radial que se muestra en la figura 4.9. Con el objetivo de estudiar la existencia de diferencias entre los diferentes tipos de muestra, se realizaron diferentes ANOVAs simples para cada uno de los atributos sensoriales evaluados, considerando en cada caso como factores el tipo de muestra. No se observaron diferencias significativas en los atributos de intensidad e homogeneidad de color ni a los parámetros relacionados con la textura del producto ($p > 0.05$). Sin embargo, los catadores observaron ciertas diferencias entre las muestras respecto los atributos de intensidad de olor a curado y del sabor del producto.

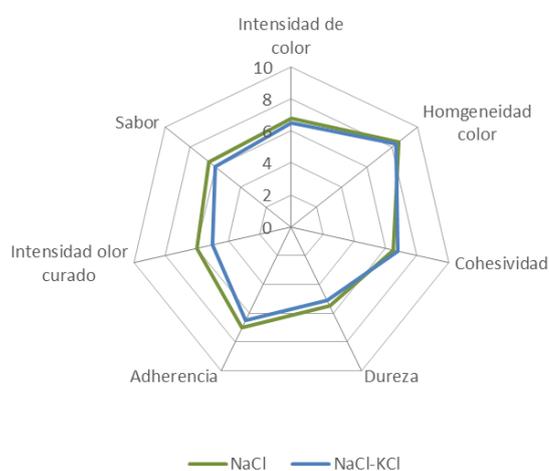


Figura 4.9. Puntuaciones dadas por los catadores para los atributos sensoriales evaluados en las muestras de lomo curado con diferentes formulaciones de sal (100% NaCl y 50% NaCl:50% KCl). Estos resultados coinciden con los dados por Aliño et al. (2009a) en lomo curado, estos autores encontraron que la sustitución parcial del cloruro sódico por KCl a niveles inferiores al 60% no afectó a la aceptación general del producto por parte de los consumidores.

4.5 Análisis de imagen

El estudio de la influencia del uso de diferentes sales de salado en la expresión del color mediante imagen inicialmente se centró en evaluar las diferencias de color dentro de los cortes transversales de los lomos. Para ello, una vez las imágenes fueron transformadas en escala de grises se evaluó los tonos de este para cada loncha. En la figura 4.10 a modo de ejemplo se muestra un perfil de tono de gris para una línea de pixeles de una loncha de lomo salado con ion Na (línea roja) y K (línea negra). Como puede apreciarse, en ambas lonchas existe una zona en la que se obtienen mayores valores de tono de gris (rango entre 100 y 130 de tono de gris) y otro en el que los tonos de gris son menores (rango entre los 55 y 90 tono de gris). Así se realizó una segmentación de imagen para ambos rangos de tono de gris y se cuantificaron el número de pixeles de cada rango existentes en una loncha. En la figura 4.11, a modo de ejemplo se muestra la segmentación para ambos rangos. Esta diferencia podría estar mostrando áreas con diferentes colores como consecuencia de encostrados, mayores grados de curado, menores valores de humedad, etc. (Lorenzo, 2015).

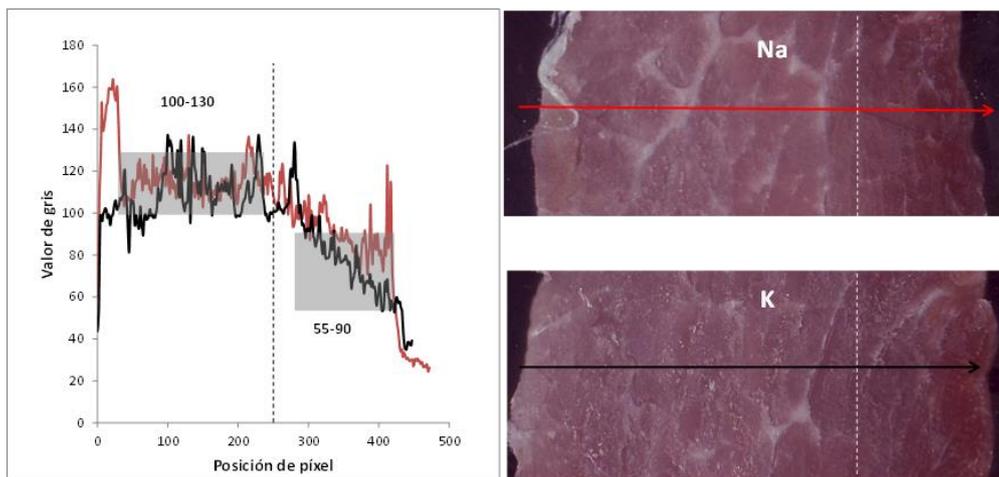


Figura 4.10. Perfil de tono de gris para una línea de píxeles de una loncha de lomo salado con ion Na (línea roja) y K (línea negra).

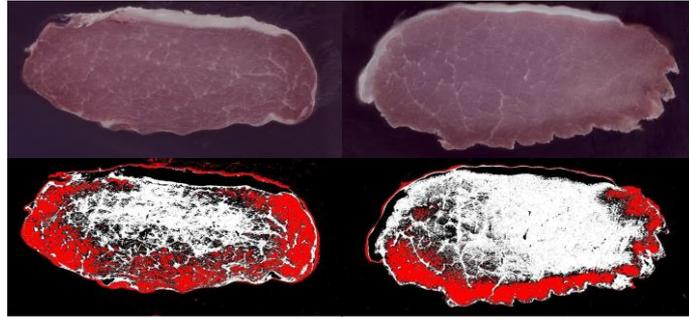


Figura 4.11. Segmentación de imagen realizada por los rangos de tono de gris 55-90 (píxeles rojos) y 100-130 (píxeles blancos). Los píxeles negros corresponderían al resto de tonos no seleccionados.

El estudio estadístico del ratio entre el número de píxeles de cada rango y el número de píxeles totales de cada loncha (figura 4.12) mostró como no existió un efecto influyente entre ambos grupos de tonos de grises, siendo pues la formación de estos grupos de píxeles externa al tipo de sal utilizada en el salado. Lo que se evidenció, aunque no estadísticamente, fue como los lomos salados solo con NaCl presentaron en general mayores tonos de gris (para ambos rangos de tonos) que los salados con la mezcla NaCl+KCl.

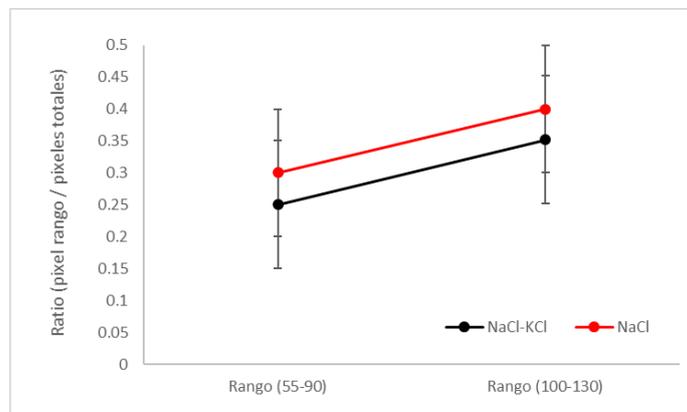


Figura 4.12. Resultado estadístico multifactorial ANOVA para el ratio entre el número de píxeles correspondientes al rango de selección (55-90 ó 100-130) el número total de píxeles.

Cuando se realizó la correlación entre la humedad de los lomos para cada zona y el ratio entre los dos rangos de tonos de grises, se evidenció una ligera tendencia (figura 4.13, izquierda). Así cuando el ratio aumentó, mayor proporción de tonos entre 100 y 130 que entre 55-90, también aumentó la cantidad de agua de las zonas analizadas, por lo que los tonos podrían reflejar áreas con mayor cantidad de agua. Pero como se muestra en la figura 4.13 (derecha), en la que se muestra la relación entre el ratio y el espesor de las lonchas de los lomos, este comportamiento

podría estar ligado al mayor o menor espesor de los lomos dado que a mayor espesor, mayor valor del ratio y por tanto de la zona con mayor cantidad de agua.

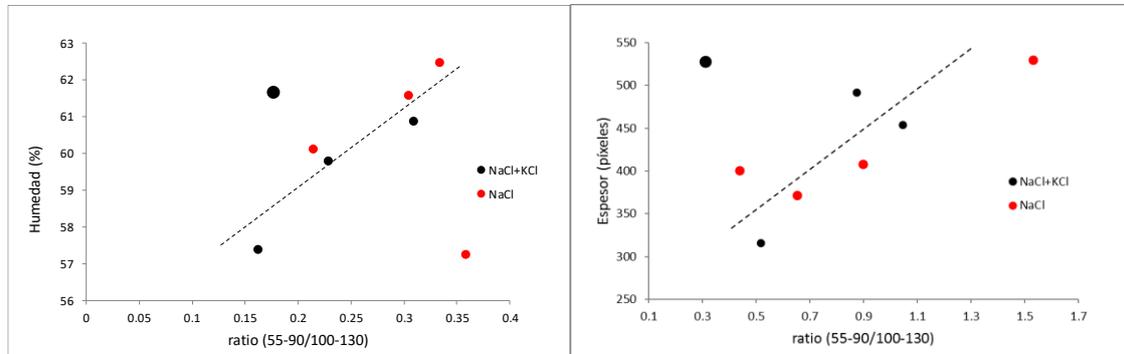


Figura 4.13. Relación entre el ratio entre los tonos de gris comprendidos entre 55 y 90 y los comprendidos entre los 100 y 130 y la humedad de la zona interna y externa de los lomos (izquierda) y con el espesor del lomo (derecha).

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un nuevo procedimiento de salado-curado controlado empleando bolsas permeables al vapor de agua para la obtención de lomo curado.

La metodología desarrollada permite obtener productos curados con sustitución parcial de sodio por cloruro potásico similares a los productos sin contenido en sodio reducido, respecto a sus parámetros físico-químicos, textura y color.

Las condiciones de humedad relativa y temperatura empleadas en este estudio no han sido las adecuadas para evitar el encostramiento de las piezas durante la elaboración de lomo curado.

La sustitución parcial del cloruro sódico por cloruro potásico ha permitido obtener un producto de lomo curado con aproximadamente un 50% menos de sodio que el producto convencional y aceptable sensorialmente.

Mediante la aplicación de la técnica no destructiva de análisis por segmentación de imagen se ha podido constatar como la diferencia existente entre los lomos es como consecuencia del encostrado, el cual estaría ligado al procesado y espesor de los lomos y no al uso de la combinación de las sales.

El nuevo proceso de salado-curado controlado empleando bolsas permeables al vapor de agua permite reducir las operaciones de manipulación del producto y el empleo de sal, lo que supone un ventaja al contribuir a mejorar la calidad higiénica del producto y reducir el impacto medioambiental que supone la generación de residuos de salmuera que se producen en estas industrias.

Bibliografía

- Lqbal,A.; Da-Wen , S.;Allen,P. (2013). Prediction of moisture, color and pH in cooked, pre-sliced turkey hams by NIR hyperspectral imaging system *Journal of Food Engineering* 117:42–51
- AECOSAN, 2017. Plan de Reducción del Consumo de Sal. Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/nutricion/subseccion/plan_consumo_sal.htm (fecha de acceso: 10/05/2017)
- AESAN, Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (2011). “Informe del Comité Científico sobre criterios para incentivar la disminución del contenido de determinados nutrientes en los alimentos transformados, cuya reducción es de interés para la salud pública.Disponible en:http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/docs/docs/evaluacion_riesgos/comite_cientifico/CRITERIOS_NUTRIENTES.pdf (fecha de acceso: 08/05/2017).
- Albarracin, W.; Sanchez, I.; Grau, R.; Barat, J.M. (2011). Salt in food processing; usage and reduction: A review. *International journal of Food Science & Technology*, 46: 1329-1336
- Aliño, M.; Baigts, D.; Toldrá, F.; Barat J.M. (2006). La problemática de la sal en la industria alimentaria. *Alimentaria*, 378: 113-118.
- 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*, 83: 423-430.
- Aliño, M.; Grau, R.; Fuentes, A.; Barat, J.M.(2010). Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. *J. Food Eng.* 99: 198–203.
- ANICE (2017). El sector cárnico español. Disponible en: http://www.anice.es/industrias/el-sector/el-sector-carnico_171_1_ap.html(fecha de acceso: 29/05/2017).
- AOAC (1997). Official Methods of analysis, 16th Ed. Association of Official Analytical chemists, Arlington, Virginia.
- Armenteros Cuesta, M.; Toldrá,F.; Aristoy Albert ,M.C. (2010)Reducción de sodio en lomo y jamón curados. Efecto sobre la proteolisis y las características sensoriales, 55, 56,91
- Arguelles, A .;Barat, J.M.;Torres, O .L.(2008)puesta a punto de métodos no destructivos y de análisis rápidos utilizables en el proceso de elaboración de jamón 1-8

- 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*, 79: 359-365.
- BOE (2014). Real Decreto 474/2014, de 13 de junio, por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos.
- BOE(2004) Reglamento (ce) nº 853/2004 del parlamento europeo y del consejo de 29 de abril de 2004 por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal
- Campus, M.; Flores, M.; Martínez, A.; Toldrá, F. (2008). Effect of high pressure treatment on color, microbial and chemical characteristics of dry cured loin. *Meat Science*, 80(4), 1174–1181.
- Carrapiso, A. I., & García, C. (2005). Instrumental colour of Iberian ham subcutaneous fat and lean (Biceps femoris): Influence of crossbreeding and rearing system. *Meat Science*, 71: 284–290.
- Cannata, S; Engle, T.E.; Moeller, S.J.; Zerby, H.N.; Radunz, A.E.; Green, M.D.; Bass, P.D.; Belk, K.E. (2010). "Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loins". *Meat Science*, 85: 428-434.
- Carrapiso,A.& García,C.(2005).Instrumental colour of Iberian ham subcutaneous fat and lean(biceps femoris):Influence of crossbreeding and rearing system. *Meat science* 71: 284-290
- Cava et al., (2009) *Innovative Food Science & Emerging Technologies* Volume 10, Issue 1, January 2009, Pages 76–81
- Corral,S.; Flores.M(2013) efecto de la reducción de sal en la calidad de embutidos crudo curados Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos (IATA-CSIC)
- Corona,E.A; Garcia-Perez,J.V ; Gomez Alvarez-Arenas , T.E;Watson ,N;Malcolm J.W. Povey;Benedito,J. (2013) Advances in the ultrasound characterization of dry-cured meat products *Journal of Food Engineering* 119: 464–470
- Fuentes López, A; Serra Belenguer, J.A; Fernández Segovia, I; Barat Baviera, J.M. (2008). Universidad Politécnica de Valencia. Desarrollo de productos ahumados a partir de lubina (*Dicentrarchus labrax* L.)
- 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.

- 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. *J. Agri. Food Chem.*, 46:4372-4375.
- Gimeno, O.; Astiasarán, I.; Bello, J.; (2001a.) Calcium ascorbate as a potential partial substitute for NaCl in dry fermented sausages: effect on color, texture and hygienic quality at different concentrations. *Meat Science*, 57: 23-29.
- 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*, 42:37-48.
- Gou, P.; Comaposada, J.; Arnau, J.; Pakowski, Z. (2003). On-line measurement of water activity at the lean surface of meat products. 10 th Drying Symposium, Lodz, Poland, 469-476.
- 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.
- Hayes, J.E.; Desmond, E.M.; Troy, D.J.; Buckley, D.J.; Mehra, R. (2006). “ The effect of enhancement with salt, phosphate and milk proteins on the physical and sensory properties of pork loin”. *Meat Science*, 72: 380-386.
- Hernández, P.; Navarro, J. L.; Toldrá, F. (1999). Lipolytic and oxidative changes in two Spanish pork loin products: dry-cured loin and pickled-cured loin. *Meat Science*, 51: 123-128.
- Ibañez, C.; QUITANILLA, C.; Irigoyen, A.; Cid, C.; Astiasarán, I.; Bello, J. (1996). Dry fermented sausages elaborated with *Lactobacillus plantarum*- *Staphylococcus carnosus*. Part I: Effect of partial replacement of NaCl with KCl on the stability and the nitrosation process. *Meat Science*, 44:227-234
- Ivorra, E; Girón, J; Sánchez, A.J.; Verdú, S; Barat, J.M.; Grau, R. (2013). Detection of expired vacuum-packed smoked salmon based on PLS-DA method using hyperspectral images. *Journal of Food Engineering*, 117:342–349.
- Ivorra, E; Verdú, S; Sánchez, A.J.; Grau, R; Barat, J.M. (2016). Predicting Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) Freshness by a Novel Combined Technique of 3D Imaging and SW-NIR Spectral Analysis. *Sensors*, 16, 1735.
- INFOCARNE, 2017. Propiedades nutricionales de la carne y productos derivados. Disponible en: http://www.infocarne.com/documentos/propiedades_nutricionales_carne_productos_derivadas.htm (Fecha acceso: 20/05/2017).

- Lebret B.; Massabie P.; Granier R.; Juin H.; Mourot J. y Chevillon P. (2002). Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Science* 62:447-455.
- Lesiów, T.; Xiong, Y.L. (2013). "A simple, reliable and reproductive method to obtain experimental pale, soft and exudative (PSE) pork" *Meat Science*, 93: 489-494.
- Lindah, G.;Lundström, K.; Tornberg, E. (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59: 141–151
- López-Brote, C.; Córdoba, J.J.; Antequera, T. (1993). Procesos degradativos de lípidos y proteínas durante la maduración del jamón. *Microbiología SEM* 9, 20-25.
- Lorenzo, J.M.;Bermúdez, R.; Domínguez, R.;Guitto, A.;Franco, D.;Puriñosa, L. (2015). Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. *Food Control* 50:763–769
- MAPAMA, Informe del consumo de alimentación en España 2015 Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio ambiente.Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informeconsumoalimentacion2015_tcm7-422694.pdf.(Fecha de acceso: 15/05/2017).
- Mora Soler, L. (2010).Determinación de compuestos bioquímicos para el control de calidad en la elaboración de jamón Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA)
- Muriel, E.; Ruiz, J.;Martin, D.;Petron, M.J.;Antequera,T (2004). Physico-chemical and sensory characteristics of dry-cured loin from different Iberian pig lines. *Food Science Technology International*, 10 (2004), pp. 117-123
- Muriel, E.; Ruiz, J.;Petrón, M. J.;Andrés, A. I.;& Antequera, T. (2003). Influencia de la alimentación sobre parámetros físico-químicos y sensoriales del lomo curado de cerdo Ibérico. *Eurocarne*, 121: 75-90.
- Picó, K.D., (2015). Sistema de control "on-line" del proceso de salado de productos cárnicos.
- Perez-Alvarez,J.A.;Sanchez-Rodriguez,E.; Fernandez- Lopez,J.;Pagan-Moreno,M.J.; Lopez-Santovenia,F.; Aranda-Catala,V.; Gago-Gago,M.A.; Ruiz-Peluffoi, C.;Rosmini,M.

- Potter, N. (1986). Food dehydration and concentration. In Food science (pp. 246-302). New York: The Avi Publishing Company, Inc.
- Randall, C., & Bratzler, L. (1970). Changes in various protein properties of pork muscle during smoking process. *Journal of Food Science*, 45:248–249.
- Rizo, Arantxa ; Fuentes, Ana ; Fernández-Segovia, Isabel ; Barat, José M.(2017). Development of a novel smoke-flavoured trout product: An approach to sodium reduction and shelf life assessment *Journal of Food Engineering*
- Rodríguez Marquina, M.(2003). El envasado al vacío en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Facultad de Industrias Alimentarias.
- Romero- Pérez, M (2016) Resonancia magnética y nuclear aplicada a la síntesis orgánica y a la metabolómica *Control de calidad de alimentos y estudio de metabolitos celulares* 122:132-134.
- Rosmini, M.R. (1996). Proceso de elaboración de los productos cárnicos fermentados: caracterización objetiva mediante parámetros de color. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Ruiz Ramón, J.L. (2005). Textura de músculos de cerdo y de jamón curado con distintos niveles de NaCl, pH y contenido de agua. Tesis Doctoral. Facultad Autónoma de Barcelona, España.
- Sánchez Molinero, F. (2003.) Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado.
- Sánchez, A.J.; Albarracín, W; Grau, R.; Ricolfe, C.; Barat, J.M. (2008). Control of ham salting by using image segmentation. *Food Control*, 19: 135–142.
- Simmons, A. L.; & Vodovotz, Y. (2012). The effects of soy on freezable bread dough: A magnetic resonance study. *Food Chemistry*, 135: 659–664.
- Soriano, P.M., (2017). Monitorización del salado y post-salado de lomo mediante ultrasonidos
- Soto, E;Hoz, L., Ordóñez, J. A., Hierro, E., Herranz, B., López-Bote, C., & Cambero, M. I. (2008). Impact of feeding and rearing systems of Iberian pigs on volatile profile and sensory characteristics of dry-cured loin. *Meat science*, 79: 666-676.
- Tárrega ,A.(2011) Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos Técnicas instrumentales avanzadas en el estudio y control de las características sensoriales de alimentos.

- Toldra 1992. The enzymology of dry-curing of meat products. En *New Technologies for meat and meat products*. Ed: Smulders, F.J.M., Toldrá, F., Flores, J., Prieto, M. ECCEAMST Audet, Nijmegen
- Ventanas, S. (2006). Influencia de la raza y de la alimentación sobre el contenido y características de la grasa intramuscular del lomo de cerdo ibérico: efecto sobre parámetros determinantes de la calidad.
- Verdú, S.; Barat, MJ. ; Grau, R. (2016) Aplicación del análisis de imagen hiperespectral y tridimensional al control de procesos y productos en la industria harinera y sus derivados. 13-15.
- Vestergaard, C.; Erbou, S.G.; Thauland, T.; Adler-Nissen, J.; Berg Salt, P.; (2017) distribution in dry-cured ham measured by computed tomography and image analysis *Journal of Food Engineering* 192 : 53-60
- VIADÉL, B. (2012). Aplicación de estrategias de reducción de sal en diferentes tipologías de producto. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ainiappt/estrategias-reduccion-sal-en-los-alimentos>