

Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación al efecto de la reducción de la sal en la seguridad microbiológica de los productos cárnicos curados

Miembros del Comité Científico

Andreu Palou Oliver, Juan José Badiola Díez, Arturo Anadón Navarro, Albert Bosch Navarro, Juan Francisco Cacho Palomar, Ana María Cameán Fernández, Alberto Cepeda Sáez, Lucas Domínguez Rodríguez, Rosaura Farré Rovira, Manuela Juárez Iglesias, Francisco Martín Bermudo, Manuel Martín Esteban, Albert Más Barón, Teresa Ortega Hernández-Agero, Andrés Otero Carballeira, Perfecto Paseiro Losada, Daniel Ramón Vidal, Elías Rodríguez Ferrí, M^a Carmen Vidal Carou, Gonzalo Zurera Cosano

Secretario

Jesús Campos Amado

Número de referencia: AESAN-2010-010

Documento aprobado por el Comité Científico en su sesión plenaria de 28 de septiembre de 2010

Grupo de Trabajo

Gonzalo Zurera Cosano (Coordinador)

Andrés Otero Carballeira

Elena Carrasco Jiménez (C. Externa)

Fernando Pérez Rodríguez (C. Externo)

Antonio Valero Díaz (C. Externo)

59

revista del comité científico nº 13

Resumen

El plan de reducción del consumo de sal a través de los alimentos constituye actualmente uno de los principales retos planteados por los distintos Estados miembros de la Unión Europea (UE) debido al aumento progresivo de la incidencia de enfermedades cardiovasculares en la población. En el caso de España, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) inició en 2008 un plan de reducción con unos objetivos concretos que permitieran pasar progresivamente de la ingesta actual de 9,7 g/día a una ingesta inferior a 8,0 g/día en el año 2014. Entre las distintas categorías de alimentos identificadas que contribuyen en mayor medida a la ingesta de sal en la dieta, se encuentran los productos cárnicos curados. Sin embargo, dichos productos poseen en líneas generales un complejo sistema de conservación que hace que la reducción de su contenido en sal tenga que ser evaluada y gestionada de forma individual, ya que podrían producirse modificaciones organolépticas, tecnológicas y, especialmente, microbiológicas como consecuencia de la reducción de sal en la formulación del producto. En el presente informe se pretende dar respuesta al impacto de la reducción de un 20% del contenido en sal (NaCl) sobre la seguridad microbiológica de productos cárnicos curados. Para abordar el problema se recurrió a la aplicación de modelos de predicción del comportamiento de los microorganismos patógenos de interés, seleccionados en función de sus posibilidades de crecer bajo las condiciones más permisivas que puedan presentarse en estos productos cárnicos (baja concentración de sal y elevada a_w). Se cuantificó el efecto de la reducción de sal en el comportamiento de los patógenos seleccionados a partir de comparación entre las tasas de crecimiento y fases de latencia, obtenidas de modelos predictivos existentes, bajo distintas condiciones de temperatura (4, 7, 10, 15 y 25 °C), pH (5,0; 6,0 y 7,0) y % de NaCl en fase acuosa (2,0; 4,0; 6,0 y 8,0) con y sin reducción del 20% del contenido de sal. Para valorar el impacto de la reducción, se propone como índice el tiempo de incremento o t_{inc} , definido como el tiempo necesario para que una población microbiana aumente en n unidades logarítmicas. La sensibilidad de los distintos patógenos a la reducción de sal en

los productos estudiados viene dada por la relación entre el porcentaje de sal añadida en fase acuosa y el porcentaje de reducción del t_{inc} al reducir la sal en el producto un 20%.

Los resultados mostraron que los patógenos más sensibles a las modificaciones de la concentración de sal fueron *Clostridium botulinum* proteolítico de entre los patógenos anaerobios obligados, y *Yersinia enterocolitica* de entre los patógenos aerobios facultativos. Se concluye que el riesgo microbiológico podría incrementarse si no se realiza un adecuado ajuste de otros factores estabilizadores. Para dicho ajuste, se discuten las posibles medidas de gestión de la seguridad microbiológica a aplicar en los productos cárnicos con sal reducida, como la modificación de las condiciones de procesado y almacenamiento y la sustitución total o parcial del NaCl con otras sales u otros agentes antimicrobianos. En definitiva, la magnitud del efecto de una reducción de sal en productos cárnicos es difícil de cuantificar, por lo que en la aplicación de modelos de predicción junto con la realización de ensayos de inoculación, se hacen necesarios para demostrar que la formulación ensayada dará como resultado un producto seguro durante su vida comercial.

Palabras clave

Reducción sal, dieta, productos cárnicos curados, riesgo microbiológico, seguridad alimentaria.

Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) in relation to the effect of salt reduction on the microbiological safety of cured meat products.

Abstract

The plan to reduce salt consumption through food intake is currently one of the main challenges posed by the different EU Member States due to the gradual increase in the incidence of cardiovascular diseases among the general population. In the case of Spain, in 2008 the Spanish Food Safety and Nutrition Agency (AESAN) started a salt reduction plan with certain specific goals enabling intake to go down gradually from the current value of 9.7 g/day to an intake of less than 8.0 g/day by 2014. The various categories of foodstuffs identified as contributing the most to salt intake through the diet include cured meat products. However, generally speaking, these products have a complex conservation system that means that any reduction in their salt content has to be evaluated and managed individually, as there might be organoleptic, technological and, in particular, microbiological modifications as a consequence of reducing the amount of salt in the product's formulation. The present report attempts to respond to the impact of a 20% reduction in the salt (NaCl) content on the microbiological safety of cured meat products. In order to deal with this problem, resource was had to the application of models to predict the behaviour of the pathogens of interest, selected on the basis of their potential for growing in the more permissive conditions that might arise in the said meat products (low concentration of salt and raised a_w). The effect of a salt reduction on the behaviour of the selected pathogens was quantified by comparing the growth rates and latency phases obtained from the models existing in Combase Predictor under different temperature conditions (4, 7, 10, 15 and 25 °C), pH (5.0, 6.0 and 7.0) and the % of NaCl in the aqueous phase (2.0, 4.0, 6.0 and 8.0%)

with and without the 20% reduction in the salt content. Proposals for an index to assess the impact of reducing salt content include incremental time or t_{inc} , defined as the time needed for a microbial population to increase by n logarithmic units. The sensitivity of the various pathogens to salt reduction in the products studied is given by the relationship between the percentage of salt added in aqueous phase and the percentage reduction in t_{inc} when salt in the product is reduced by 20%.

The results showed that the pathogens most sensitive to modifications in salt concentration were proteolytic *Clostridium botulinum* among obligatory anaerobic pathogens and *Yersinia enterocolitica* among the optional aerobic pathogens. It is concluded that the microbiological risk might increase unless an adequate adjustment is made to other stabilizing factors. For this adjustment, we discuss the possible microbiological safety management measures to be applied to meat products with reduced salt, such as alterations in their processing and storage conditions and the total or partial replacement of NaCl by other salts or other anti-microbial agents. In short, the magnitude of the effect of a salt reduction in meat products is difficult to quantify, therefore, the application of prediction models together with the performance of inoculation assays are necessary to demonstrate that the formulation assayed will result in a product that is safe throughout its commercial life.

Key words

Salt reduction, diet, cured meat products, microbiological risk, food safety.

Introducción

En su informe de salud del año 2002, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que aproximadamente el 62% de las enfermedades cerebro-vasculares y el 49% de la enfermedad isquémica cardiaca era atribuible a la presión arterial elevada (Presión arterial sistólica >115 mmHg.). En España, la mortalidad directamente ocasionada por la enfermedad hipertensiva ha sufrido un aumento mantenido. La prevalencia de hipertensión arterial en España en el año 2002 se estimó en torno a un 35%, aunque llegaba al 40% en edades medias y al 68% en mayores de 65 años, afectando a unos 10 millones de personas. Así, el 33% de las muertes ocurridas en España se atribuyen a enfermedades cardiovasculares (123.867 fallecimientos en 2004). Este hecho genera un aumento del gasto sanitario como consecuencia del tratamiento de enfermedades cardiovasculares. En concreto, en España el gasto está por encima de cuatro billones de euros anuales (7% del gasto sanitario global) (European Cardiovascular Disease Statistics, 2005).

Uno de los principales factores implicados en el origen de la hipertensión arterial (HTA) primaria es el excesivo consumo de sodio, que se ingiere en la dieta en forma de cloruro sódico (sal común), de manera que por cada 2,5 g de sal se ingiere 1 g de sodio. La sensibilidad al sodio puede variar de forma individual, tal como se pone de manifiesto en diferentes estudios, en los que se sugiere que el aumento de la presión arterial en pacientes afectos del síndrome metabólico, es superior en aquéllos más sensibles a la sal (Hoffmann y Cubeddu, 2007) (Chen et al., 2009), y que los procesos cardiovasculares adversos ocurren más frecuentemente en pacientes con hipertensión sensible al sodio (Morimoto et al., 1997). Por otra parte son numerosos los estudios realizados sobre los beneficios económicos, sociales y de mejora de la calidad de vida en la población, derivados de la disminución del contenido de sal en la dieta (Beaglehole et al., 2007) (Dall et al., 2009a) (Dall et al., 2009b) (Palar y Sturm 2009). Estos y otros datos han llevado a las autoridades sanitarias a considerar la reducción del contenido de sal de los alimentos como urgente (Havas et al., 2007).

Se han lanzado y reforzado varias campañas de reducción de consumo de sal para abordar cómo la población percibe tal amenaza para salud pública. La Acción Mundial en Sal y Salud (WASH) ha fijado un objetivo de reducción de la ingesta de sal en la dieta de 10-15 g/día a 5 g/día, establecido por la OMS (World Action on Salt and Health, 2009), mientras que la Administración competente en legislación alimentaria en Reino Unido, la *Food Standards Agency* (FSA), ha fijado un nivel de consumo de no más de 6 g de sal al día (Anon, 2009). En Estados Unidos, el Centro para la Ciencia y el Interés Público (CSPI) ha solicitado a la FDA (*U.S. Food and Drug Administration*) la revocación del estatus de sustancia GRAS para el cloruro sódico y reclasificarla como un aditivo alimentario (FDA, 2007).

Tanto las instituciones internacionales (OMS, FAO, UE) como los gobiernos de muchos países están basando parte de sus acciones e intervenciones para la prevención de enfermedades crónicas, en medidas de prevención primaria como es la reducción de la ingesta de sal. Es necesario que ésta se lleve a cabo desde todos los enfoques posibles; el contenido medio en sal en los alimentos, la adición de sal durante la elaboración y consumo de los alimentos (entre el 70% y el 75% de la sal que tomamos no proviene de la comida preparada en casa, sino de productos elaborados), o la concienciación de los ciudadanos para poder obtener resultados satisfactorios.

Los Estados miembros se han mostrado a favor de aplicar políticas para la reducción de consumo de sal a través de la educación sanitaria y de fomentar acciones con la industria alimentaria, con vistas a reformular la composición de aquellos productos elaborados que aportan más sal a nuestra dieta. La Unión Europea (UE) ha llegado a un principio de acuerdo, para reducir en un 16% la cantidad de sal en varios grupos de productos elaborados, que son aquéllos que aportan más sal a la dieta; productos cárnicos curados, quesos y pan. La medida se basa en las evidencias científicas que relacionan el consumo de sal con la hipertensión arterial y las enfermedades cardiovasculares, así como en un informe aprobado por la Eurocámara que recomienda reducir su presencia en la dieta. Esta iniciativa, en línea con las ya iniciadas en varios países europeos con resultados positivos (Reino Unido, Finlandia, y otros), se enmarca también en la política impulsada desde la UE (DGSANCO-Comisión Europea) tanto indirectamente en el Libro Blanco de "La Estrategia para Europa sobre Nutrición, Sobrepeso y Obesidad" de la Comisión Europea, como en las recomendaciones establecidas por el Grupo de trabajo de alto nivel en nutrición y actividad física de la Comisión Europea y la DGSANCO de la Comisión, que considera prioritario abordar la reducción de sal en los países europeos con flexibilidad y respeto en su ejecución a las particularidades propias de cada Estado miembro.

En España, la AESAN se planteó a finales del año 2008 desarrollar un plan de reducción del consumo de sal en la población, con unos objetivos concretos de reducción que permitieran alcanzar progresivamente las recomendaciones de la OMS respecto de la ingesta de sal en la población de 5 g/ persona/día (AESAN, 2009). En este Plan, como objetivo intermedio entre el consumo actual (9,7 g/ persona/día) y el máximo recomendado por la OMS, se ha propuesto reducir la ingesta de sal a menos de 8,0 g/día en el año 2014.

Para hacer una propuesta ajustada a la realidad española, la AESAN consideró como primer paso imprescindible conocer la situación actual con objeto de poder evaluar posteriormente su impacto. Para ello llevó a cabo un estudio para la obtención de datos a nivel nacional relacionados con el consumo de sal en la población, con los grupos de alimentos con mayor contenido en sal y los que aportan más sodio a la dieta y tratar de conocer el consumo medio de sal en la población española y sus principales fuentes alimentarias de forma rigurosa y representativa (AESAN, 2009).

La adición de sal a los alimentos ha constituido un tema de debate en el sector industrial, siendo particularmente el sector cárnico el más afectado, dada la gran variedad de productos que contempla. En otros países, como Irlanda o Estados Unidos, los productos cárnicos procesados contribuyen en más de un 20% de la ingesta diaria de sodio (Engstrom et al., 1997). Sin embargo, llevar a cabo una reducción del contenido en sal puede tener consecuencias negativas tanto de tipo tecnológico, dado que la sal afecta a las propiedades físico-químicas y organolépticas de este tipo de productos, como de tipo higiénico-sanitario. A este respecto, la sal tiene un papel fundamental en la conservación y ampliación de la vida útil de los productos cárnicos (Desmond, 2006). La reducción del contenido en sal reduce la vida útil (Sofos, 1985) debido a la proliferación de microorganismos alterantes y/o patógenos (Whiting et al., 1984). Los trabajos científicos elaborados hasta la fecha, demuestran que es necesario realizar un estudio preliminar acerca de las implicaciones sobre la seguridad microbiológica antes de proceder a una reducción del contenido en sal, o bien, sustituirla por otros ingredientes alternativos.

Por tanto, y como una consecuencia lógica basada en el principio de cautela, el Presidente de la AESAN plantea a su Comité Científico, una consulta sobre las consecuencias derivadas de la reducción de un 20% del contenido de sal en productos cárnicos, sobre la seguridad microbiológica de estos productos.

La sal y los productos cárnicos

Aunque los componentes de la sal (cloruro sódico) son esenciales en la dieta en pequeñas cantidades, en el caso del sodio, una cantidad excesiva puede generar problemas de salud, siendo uno de los factores de riesgo que contribuyen a una presión arterial elevada y a incrementar el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares.

Aunque la sal es la mayor fuente de sodio en nuestros alimentos, el sodio es también un componente de otros ingredientes tales como el bicarbonato de sodio, utilizado en productos de panadería, nitrato sódico, nitrito sódico usados como agentes del curado en productos cárnicos, o el monoglutamato sódico utilizado como potenciador del sabor. Conocer, por tanto, la ingesta total de sodio procedente de los alimentos no es fácil. Además, existen problemas metodológicos, como es la dificultad de controlar la ingesta o la representatividad de la muestra seleccionada (Brown et al., 2009).

La ingesta media de sal por persona en España, estimada a partir de la excreción de sodio en orina de 24 horas, es de 9,7 g/día (AESAN, 2009). Del estudio realizado en España acerca de la ingesta de sodio a través de la dieta, se dedujo lo siguiente:

- El 87,5% de la población ingiere más de 5 g de sal/día.
- El 20% de la sal ingerida se añade en el cocinado/ mesa.
- El 72% de la sal ingerida se encuentra en alimentos procesados (sal oculta), especialmente en:
 - Productos cárnicos curados (26,2%).
 - Pan y panes especiales (19,1%).
 - Quesos (6,7%).
 - Platos preparados (4,9%).

Estos cuatro grupos de alimentos determinan casi el 60% de la sal ingerida. Entre los alimentos en los que ha analizado el contenido en sal y en los que pretende proponer objetivos de reducción, se incluyen los productos cárnicos curados.

1. El sistema de conservación de los productos cárnicos

Para comprender la implicación de la reducción de la sal en la seguridad microbiológica de los productos cárnicos es muy importante comprender los sistemas de conservación a los que son sometidos, que dependerá del tipo de producto cárnico.

Aunque los tipos de productos cárnicos son numerosos y variados, muchos de ellos se encuadran en dos grupos de productos alimenticios ya acuñados en la terminología de los tecnólogos de los alimentos: los productos cárnicos de humedad intermedia y los productos cárnicos autoestables, que tienen características comunes y diferentes entre sí.

Un producto cárnico autoestable debe tener un $\text{pH} < 5,2$, una $a_w < 0,95$ (Boyle et al., 1993), y ser

sometido a un tratamiento térmico de pasteurización, por lo que no es necesario su almacenamiento en condiciones de refrigeración.

Con carácter general, los productos cárnicos de humedad intermedia se definen como aquellos que son estables a temperatura ambiente básicamente por reducción de su a_w . Estos productos presentan un contenido acuoso intermedio entre los frescos y los deshidratados, y no precisan de refrigeración durante su etapa de almacenamiento y distribución (Troller, 1986).

La elaboración de productos cárnicos de humedad intermedia ha constituido un excelente procedimiento de conservación de los alimentos, practicado por el hombre desde la prehistoria, consistente en reducir la disponibilidad del agua del alimento para inhibir o retardar el crecimiento de los microorganismos, asegurando su estabilidad. En los alimentos frescos la disminución de la disponibilidad del agua por parte de los microorganismos, o lo que es lo mismo, la reducción de la actividad de agua (a_w) se logra básicamente desecando parcialmente el producto y/o adicionándole determinados humectantes (deshidratación osmótica).

Aunque se han propuesto diferentes intervalos de contenido en humedad y de actividad de agua, la opinión más generalizada es la de considerar productos cárnicos de humedad intermedia a aquellos que se encuentran en el intervalo entre 0,60 y 0,90 de a_w (< 0,60 se corresponderían con los de humedad baja, > 0,90 con los de humedad alta e incluso dentro de éstos, > 0,99 con los de humedad muy alta) (Fernández-Salguero, 1995) (Tabla 1).

Los productos cárnicos de humedad intermedia constituyen una parte muy importante de los productos procesados consumidos por la población española, contribuyendo en un alto porcentaje a la ingesta de sodio total en la dieta. Por esta razón, son objeto de estudio en el presente informe.

Tabla 1. Cloruro sódico (%), actividad del agua (a_w) y pH de productos cárnicos de humedad intermedia españoles seleccionados

Productos	^a NaCl%	^a a_w	^b a_w	^a pH
Cecina	9,0 ± 0,2	0,859 ± 0,036	0,948	5,92 ± 0,08
Chorizo extra	3,9 ± 0,6	0,872 ± 0,041	0,939	5,33 ± 0,39
Chorizo primera	3,9 ± 0,2	0,894 ± 0,016	0,920	5,34 ± 0,49
Jamón curado	5,5 ± 0,4	0,909 ± 0,004	0,916	5,99 ± 0,13
Lomo embuchado	4,7 ± 1,0	0,883 ± 0,022	0,919	5,78 ± 0,11
Morcilla	2,9 ± 0,4	0,847 ± 0,053	0,934	5,08 ± 0,13
Morcilla de cebolla	2,3 ± 0,1	0,869 ± 0,015	0,894	6,37 ± 0,08
Morcón	4,1 ± 0,2	0,817 ± 0,055	0,908	5,35 ± 0,19
Salami extra	3,7 ± 0,6	0,887 ± 0,026	0,930	4,87 ± 0,18
Salami primera	4,0 ± 0,3	0,846 ± 0,008	0,859	5,11 ± 0,04
Salchichón extra	4,6 ± 0,4	0,879 ± 0,022	0,915	5,01 ± 0,29
Salchichón primera	4,8 ± 0,5	0,850 ± 0,068	0,962	5,43 ± 0,46
Salchichón segunda	3,9 ± 0,7	0,801 ± 0,037	0,850	4,84 ± 0,28
Salchichón tercera	4,3 ± 0,4	0,784 ± 0,040	0,862	4,83 ± 0,17
Sobrasada	2,3 ± 0,1	0,828 ± 0,004	0,835	4,72 ± 0,03

^aMedia ± desviación típica.

^b95% percentil de la distribución normal construida con la media y desviación estándar de a_w .

Adaptada de (Fernández-Salguero 1995).

Entre estos productos se pueden diferenciar tres grupos principales, los productos no picados y curados, los picados y fermentados, y los escaldados y desecados. Los productos no picados y madurados como el jamón curado, el lomo embuchado y la cecina, son estables durante el almacenamiento y distribución en función de la acción simultánea de los siguientes factores: una a_w media inferior a 0,91, que en el caso de la cecina es de 0,859, un pH inferior a 6,0 y la presencia de diferentes conservantes como son la sal y los nitritos en el jamón curado. Además, el proceso de elaboración se realiza en condiciones de refrigeración. En la cecina, además del curado intervienen los componentes del humo, y en el lomo embuchado, además de los anteriores se adicionan especias y antioxidantes como el ácido ascórbico y su sal sódica (ascorbato sódico).

En los productos picados y fermentados como el chorizo, el morcón, el salchichón, el salami y la sobrasada, la a_w oscila entre 0,894 para el chorizo primera clase hasta 0,784 en el caso del salchichón de tercera clase, encontrándose el pH en el intervalo entre 5,43 y 4,72. Además de los anteriores factores barrera participan la flora competitiva, un bajo potencial redox (Eh) y los conservantes. Las sales nitrificantes juegan un papel fundamental en la conservación y seguridad de estos productos y en algunos casos también se adicionan antioxidantes e incluso ácido sórbico como antimicótico. El nitrito añadido con la sal del curado inhibe, entre otros patógenos, a las salmonelas, y junto a otros solutos (particularmente los de bajo peso molecular) hacen descender la a_w desde 0,99 a 0,96-0,97 lo que provoca también la inhibición de la mayoría de los microorganismos aerobios Gram-negativos (muy

sensibles a las reducciones de la a_w) con lo que se favorece el crecimiento de la flora láctica, micrococos y estafilococos no patógenos. El crecimiento de estos microorganismos hace descender el potencial redox y el pH del producto, que a su vez inhibe a los organismos aeróbicos como los *Pseudomonas* y favorece de nuevo la selección de la flora competitiva, fundamentalmente ácido-láctica. De esta forma, la estabilidad se alcanza durante la elaboración por una secuencia de cinco factores barrera: conservantes, bajo Eh, flora competitiva, pH y actividad de agua. Estos factores inhiben eficazmente el crecimiento de microorganismos causantes de toxiinfecciones alimentarias (*Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *C. botulinum*) así como otras bacterias causantes de alteraciones negativas en el producto (Leistner, 1992).

2. Mecanismos de acción de la sal frente a los microorganismos

La sal es el ingrediente más crítico en la elaboración de productos cárnicos curados después de la carne, empleándose cantidades que oscilan entre el 1 y el 5%. Los productos cárnicos madurados contienen una concentración mayor de sal que los frescos. Entre las distintas funciones de la sal adicionada se destaca su capacidad como conservante, siendo el ingrediente antimicrobiano más versátil y económico usado en los alimentos y de hecho continúa siendo hoy día uno de los más efectivos para el desarrollo de productos alimenticios seguros (Taormina, 2010).

La sal no posee ninguna acción específica antimicrobiana, pero sí desarrolla un efecto bacteriostático general, retardando el crecimiento microbiano en mayor o menor medida en función de la concentración utilizada. A concentraciones suficientemente elevadas, la sal produce un desequilibrio osmótico en las células microbianas, produciendo la salida de agua de las células a través de las membranas semipermeables, dando lugar a la retracción y reducción del volumen citoplasmático debida a la pérdida de agua, fenómeno conocido como plasmólisis. La plasmólisis no depende del soluto empleado, sino de la osmolaridad del medio (Csonka, 1989). Sin embargo, entre los solutos presentes en la fase acuosa de la carne, el NaCl parece ejercer el mayor grado de control sobre el crecimiento microbiano (Gutiérrez et al., 1995). Puesto que las células deben mantener un nivel adecuado de agua en el citoplasma para el normal funcionamiento celular, recurren a la acumulación activa de iones, o a la captura o síntesis de solutos compatibles. La energía invertida en estas actividades reduce el crecimiento, pudiendo anularse por completo. La tolerancia a la sal varía entre las especies microbianas, disminuyendo bajo condiciones sub-óptimas de pH, temperatura, potencial redox, disponibilidad de nutrientes u otros agentes antimicrobianos.

La acción conservante de la sal consiste en algo más que la deshidratación. El sulfato de magnesio posee un mayor efecto deshidratante sobre las proteínas que el NaCl, pero no ejerce mayor efecto bacteriostático frente a *S. aureus* que el NaCl (Rockwell y Ebertz, 1924). Para estos autores, entre los factores implicados en las propiedades conservantes del NaCl se incluye la toxicidad del Cl⁻, la eliminación del oxígeno del medio, aumentando la sensibilización de los microorganismos al CO₂, y la interferencia con la acción de los enzimas proteolíticos.

La acción de la sal está relacionada con su concentración en la fase acuosa, lo que explica, por ejemplo, que en los productos sometidos a procesos de secado (jamones crudo curados, salchichones fermentados), sea necesario utilizar el frío al comienzo de la fabricación, cuando el contenido en agua

es todavía elevado, mientras que al final del proceso, con un contenido en agua reducido (y elevada concentración de sal en agua) resulta prácticamente innecesario.

La relación existente entre el contenido de Na y sal (entendida como NaCl); la relación entre el porcentaje de sal en la fase acuosa y el porcentaje de sal añadida (sal en carne/agua en carne); así como entre el contenido de sal y la actividad de agua a_w se calcula de la siguiente forma:

Peso molecular Na: 22,99

Peso molecular Cl: 35,45

Peso molecular NaCl: 58,44

$$\text{NaCl (g)} = 2,54 \times \text{Na (g)} \text{ ó}$$

$$\text{Na (g)} = 0,39 \times \text{NaCl (g)}$$

$$\% \text{ sal en fase acuosa} = \frac{\% \text{ sal en carne}}{\% \text{ agua en carne}} \times 100$$

La relación entre el contenido de sal y la actividad de agua (a_w) fue establecida por Resnik y Chiffie (1988):

$$a_w = 1 - \frac{\% \text{ NaCl} \times (5,2471 + 0,12206 \times \% \text{ NaCl})}{1.000}$$

Para describir el grado de tolerancia o resistencia de los microorganismos al NaCl, se han utilizado diferentes términos como halófilo, tolerante a la sal, resistente a la sal, halófilo facultativo, etc. El término halotolerante podría ser considerado sinónimo de tolerante a la sal, y ambos términos son intercambiables con el de halófilo facultativo. Ejemplos de bacterias patógenas que responden a alguno de estos términos son *Listeria monocytogenes* (tolerante a la sal), *Staphylococcus aureus* (resistente a la sal) y *Vibrio parahaemolyticus* (halófilo). Los microorganismos tolerantes a la sal y los halófilos son también denominados xerotolerantes o xerófilos, pero estos últimos son usados más a menudo en condiciones de baja a_w generada por elevados niveles de azúcares (Taormina, 2010).

Consecuencias microbiológicas de la reducción de sal en productos cárnicos

1. Posibilidades de reducir el contenido en sal en productos cárnicos curados

Para desarrollar el plan de reducción del consumo de sal en la población, la AESAN se planteó como objetivo de reducción, alcanzar progresivamente las recomendaciones de la OMS respecto de la ingesta de sal en torno a 5 g/persona/día. Las medidas propuestas en el mencionado plan pasan necesariamente por:

1. Desarrollo de campañas de educación y concienciación.
2. Disminución del consumo de alimentos procesados a favor de los productos frescos.
3. Disminución de la cantidad de sal añadida: en el cocinado y en la mesa (salero).
4. Elección de productos con un menor contenido en sal: etiquetado nutricional obligatorio, fácil de interpretar (sal en lugar de sodio).
5. Reformulación de productos alimentarios para disminuir el contenido en sal y búsqueda de alternativas de sustitución.

En aquellos alimentos en los que la sal forma parte de su sistema de conservación, se ha considerado que la reducción en el nivel de sal requerirá del necesario ajuste de alguna de las propiedades intrínsecas o extrínsecas del alimento para asegurar el mismo nivel de seguridad alimentaria. Estos ajustes pueden clasificarse como sigue:

- Reducción de la vida comercial.
- Modificación de las condiciones de procesado.
- Sustitución del cloruro sódico con otro tipo de cloruros.
- Reducción del contenido de cloruro sódico, compensando parte de su funcionalidad con algún aditivo.

La reducción de sal acompañada de la reformulación de un producto para proporcionar la misma seguridad, debe ser viable económica y tecnológicamente, y ha de ser aceptada por el consumidor, desde el punto de vista sensorial y de confianza. El paladar es muy tradicional, de modo que la reducción de sal en alimentos procesados ha de ser paulatina. La tolerancia a la sal está relacionada con el grado de exposición, de forma que cuando se reduce el consumo de sal, los receptores para el sabor salado se vuelven más sensibles, por lo que la reducción gradual de sal en alimentos no produciría rechazo por parte del consumidor. Por otra parte, el consumidor es reacio a lo desconocido, demostrándose que la información que aparece en el etiquetado de ciertos alimentos sobre otros ingredientes alternativos, no generan la suficiente confianza en el consumidor (Searby, 2006).

La disminución de sal en productos cárnicos se puede conseguir haciendo una selección de la materia prima, modificando los procesos tecnológicos y añadiendo sustancias que compensen la reducción salina (Angus et al., 2005). Gran parte de las investigaciones actuales, van encaminadas a tratar de permitir la disminución del contenido de sal de los productos cárnicos, sin alterar sus principales cualidades, en respuesta a la demanda de productos saludables y al reemplazamiento del NaCl por otras sales como: KCl, MgCl₂, CaCl₂, MgSO₄, etc. (Blesa et al., 2008).

Un programa de disminución de sal debe precisar el nivel de reducción que se pretende alcanzar en relación a los niveles de sal que existen actualmente en las diferentes categorías de productos cárnicos. Es importante agrupar a los productos cárnicos en categorías suficientemente homogéneas y amplias que no supongan un proceso de difícil consecución. Dentro de cada categoría, los de menor contenido en sal indican los porcentajes de reducción que potencialmente podrían alcanzarse, teniendo en cuenta las posibles variaciones derivadas de los ingredientes utilizados o del método de elaboración.

El informe NAOS señala dos maneras de afrontar este proceso de reducción: a) fijando niveles máximos de sal para cada categoría de alimentos o b) estableciendo porcentajes de reducción desde el contenido medio de sal en cada categoría.

2. Riesgo microbiológico derivado de la reducción de sal en los productos cárnicos

Los cambios en la formulación de un producto, por pequeños que sean, pueden afectar la estabilidad microbiológica del mismo, haciendo necesaria una evaluación de la seguridad de dicho producto una vez reformulado. En el caso de añadir nuevos componentes para compensar una disminución de sal,

será necesario evaluar cualquier cambio asociado a la carga microbiana del producto. La reducción del contenido de sal en un producto alimenticio, no suele tener consecuencias sobre la prevalencia de los microorganismos ni sobre las especies microbianas presentes inicialmente en el alimento, pero puede afectar a su supervivencia y crecimiento. La magnitud del crecimiento de un microorganismo patógeno asociado a la reducción de sal en un alimento dependerá del papel que juegue la sal en la estabilidad de dicho producto. Es decir, hay alimentos cuya estabilidad microbiológica no se verá afectada por la reducción de sal como ocurre con los alimentos congelados; los tratados por el calor, los acidificados ($\text{pH} < 3,8$), o los alimentos con bajos valores de actividad de agua ($a_w < 0,86$), siempre que la a_w no esté relacionada con el contenido de sal. Por lo tanto, el efecto inhibitorio de la sal variará en función de las características del alimento, de los agentes conservantes añadidos, de las condiciones de procesado y del microorganismo de que se trate, lo que hace difícil el hecho de establecer recomendaciones sobre los niveles de sal en alimentos.

Determinadas técnicas de conservación poco agresivas pueden prevenir el crecimiento de determinados microorganismos. Un correcto almacenamiento refrigerado previene el crecimiento de *Bacillus cereus* (cepas mesófilas), *Campylobacter*, cepas proteolíticas de *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus aureus* y *Vibrio* en alimentos. Un tratamiento de pasteurización de 70 °C/2 minutos o su equivalente producirá una reducción 6D en el número de patógenos no esporulados, y por tanto su eliminación en aquellos productos en los que no existe contaminación post-proceso.

El uso de estas estrategias de conservación para inhibir el crecimiento de patógenos da como resultado alimentos seguros independientemente de su contenido en sal. Sin embargo, el uso de estos sistemas de conservación puede resultar inadecuado si la calidad del producto, textura, sabor, nutrientes, etc., se ve amenazada. Para garantizar su seguridad preservando su calidad sensorial y nutricional, muchos alimentos requieren del empleo de una combinación de métodos/ factores de conservación, como son el tratamiento térmico, temperatura de almacenamiento, tiempo de almacenamiento, a_w , pH, potencial redox, uso de atmósferas modificadas, conservantes como cloruro sódico, nitritos o ácidos orgánicos o la presencia de microorganismos competitivos (bio-conservación). En consonancia con este hecho, la FSA (*Food Standard Agency*, 2003) del Reino Unido, presentó un informe en el que subraya la necesidad de emplear un sistema multifactorial para preservar la seguridad de los productos cárnicos elaborados. Además, añade que la magnitud del efecto de la reducción de sal en alimentos es difícil de predecir debido a que los complejos sistemas de conservación no son completamente conocidos (Stringer y Pin, 2005).

El posible riesgo asociado a la reducción de sal en productos cárnicos, puede analizarse desde el conocimiento de las condiciones que previenen el crecimiento de patógenos, empleando modelos predictivos que estimen el posible crecimiento bajo las condiciones que imperan en estos productos, realizando ensayos de inoculación de patógenos en el alimento, o una combinación de los dos. Los ensayos de inoculación son específicos para cada grupo de condiciones en cada producto, y pueden variar significativamente al modificar las condiciones de formulación y el tipo de microorganismo. Esta vía es costosa, laboriosa y necesitaría semanas para la obtención de datos. La posibilidad de disponer modelos de predicción, nos proporciona una vía rápida, fácil y económica de predecir las consecuencias del cambio en la formulación.

Es importante recordar que el efecto inhibitor de la sal sobre los microorganismos, tiene lugar en la fase acuosa del alimento. Es decir, que el contenido en sal en la fase acuosa del alimento es el verdadero agente inhibitor. Por tanto, la reducción de sal referida al peso del alimento, tendrá un gran impacto sobre la a_w en aquellos alimentos con bajo contenido de humedad. Incluso dentro de una misma categoría de producto, se pueden observar diferencias apreciables. Por ejemplo, la concentración de sal en fase acuosa de diferentes tipos de salchichón sujetos a idéntica reducción de sal por 100 g, se muestra en la Tabla 2. El efecto reductor de la sal por gramo de alimento aumenta cuanto menor es su contenido acuoso. La variabilidad en el contenido en humedad entre los distintos tipos de salchichón refleja la cantidad de grasa en el producto. Una tendencia hacia la reducción de grasa en productos cárnicos indirectamente incrementaría la cantidad de sal necesaria para mantener la seguridad del producto.

Tabla 2. Efecto del contenido acuoso de salchichón perteneciente a distintas categorías sobre la concentración de sal en fase acuosa

Producto	^a Contenido acuoso (%)	Sal en alimento (%)	Sal en fase acuosa (%)	^b Sal en alimento (%)	^b Sal en fase acuosa (%)	Reducción en fase acuosa (%)
Salchichón Extra	38,1	4,8	12,6	3,8	10,0	2,6
Salchichón 1 ^a	31,8	4,8	15,1	3,8	12,1	3,1
Salchichón 2 ^a	28,7	4,8	16,7	3,8	13,3	3,4
Salchichón 3 ^a	26,4	4,8	18,2	3,8	14,5	3,7

^aDatos publicados por Fernández-Salguero et al. (1994).

^bConcentración resultante de una reducción del 20% de sal.

Desde un enfoque probabilístico, se podría modelar el porcentaje de sal añadida a un producto concreto, y conocer su equivalencia en porcentaje de sal en la fase acuosa del alimento. Por ejemplo, si se conoce que al salchichón Extra se le adiciona sal con una concentración media del 4,8% y una desviación típica del 1%, asumiendo que la concentración de sal es una variable que se ajusta a una distribución normal, el 50% de las unidades de salchichón tendrían una concentración inferior al 4,8% de sal en producto, equivalente aproximadamente a un 12,6% de sal en fase acuosa. Se puede representar gráficamente la probabilidad asociada a las distintas concentraciones de sal (en producto y en fase acuosa), como se observa en la Figura 1.

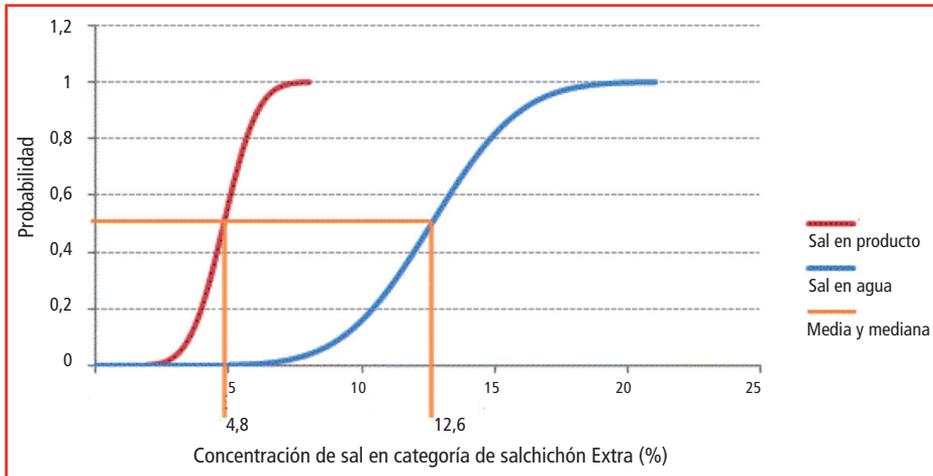


Figura 1. Variabilidad de la concentración de sal (%) como probabilidad acumulada en la categoría de salchichón Extra, asumiendo una distribución normal (4,8; 1) para la concentración de sal en producto.

Como se ha comentado, el riesgo potencial que pueda estar asociado a una disminución en la reducción de sal, puede evaluarse desde el conocimiento de las condiciones limitantes para los patógenos, empleando modelos predictivos o realizando ensayos de inoculación. En el presente informe se procede a la evaluación del riesgo mediante la aplicación de modelos predictivos.

3. Selección de microorganismos patógenos de interés en productos cárnicos curados

Los microorganismos de interés en el presente estudio serán aquellos cuya presencia en los productos cárnicos es posible y cuyo crecimiento es compatible con las características de los productos cárnicos curados objeto de estudio. Para comprobar la compatibilidad del crecimiento de distintos patógenos en estos productos, se ha calculado su porcentaje de sal en fase acuosa a partir de los datos presentados en el informe del Plan de reducción del consumo de sal de la estrategia NAOS (AESAN, 2009) (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de sal en productos curados

Categoría de producto	Media%	Mediana%	Mínimo%	Máximo%
Chorizo	3,26	3,51	2,60	3,81
Fuet	3,68	3,71	3,35	4,09
Jamón	4,49	4,58	1,13	7,81
Salchichón	2,94	3,01	1,74	4,02

Con estos datos de sal (media), se ha calculado el porcentaje de sal en fase acuosa sin y con reducción de sal del 20%, teniendo en cuenta la humedad de los distintos productos cárnicos hallada por Fernández-Salguero et al. (1994) y Fernández-Salguero (1995). Se ha seleccionado un escenario de peor caso (95% percentil) para la humedad en las distintas categorías de productos curados (Tabla 4), considerando una distribución normal $N(\mu, \sigma)$ para la humedad de cada categoría de producto.

Tabla 4. Contenido de sal en productos curados y en su fase acuosa

Categoría	^a Humedad	Humedad peor caso (95% perc)	^b Media sal	Media -20% sal	Media sal fase acuosa	Media -20% sal en fase acuosa
Chorizo	37,3 ± 8,2	50,8	3,26	2,61	6,42%	5,13%
Jamón curado	47,6 ± 5,1	56,0	4,49	3,59	8,02%	6,41%
Salchichón	38,1 ± 3,0	43,0	2,94	2,35	6,84%	5,46%

^aDatos de Fernández-Salguero (1995).

^bDatos del documento NAOS (AESAN, 2009).

Atendiendo a los valores más permisivos para el crecimiento microbiano (baja concentración de sal y elevada a_w) de los productos cárnicos curados, se han identificado los microorganismos que no son capaces de crecer en dichas condiciones permisivas, por lo que no serán relevantes para un estudio posterior. Según la Tabla 4, el valor más bajo de sal en fase acuosa (media-20%) es del 5,13%, mientras que el valor más alto de a_w (peor caso) según la Tabla 1 es el correspondiente al salchichón de 1ª categoría y la cecina (0,962 y 0,948, respectivamente). Dados estos valores, los microorganismos cuya a_w mínima para crecer sea superior a 0,962 o tolere, como máximo, una concentración de sal de 5,13%, serán excluidos para el siguiente estudio. En la Tabla 5 se identifican en gris los microorganismos incapaces de crecer a las condiciones de los productos curados. Por el contrario, los no coloreados son los que presentan una tolerancia a la sal superior a 5,13% (en fase acuosa) y son capaces de crecer en un alimento con a_w de hasta 0,962, por lo que han sido seleccionados para un estudio comparativo en el siguiente apartado.

Tabla 5. Condiciones limitantes de crecimiento para microorganismos patógenos

Microorganismo	T mín (°C)	a_w mín	NaCl máx (%)	pH mín	Oxígeno
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0	0,97	5	4,5	Aerobio facultativo
<i>Bacillus cereus</i>	4,10*	0,93	11	5,0	Aerobio facultativo
<i>Campylobacter jejuni</i>	32	0,98	3	4,9	Microaerófilo
<i>C. botulinum proteolítico</i>	10	0,94	10	4,6	Anaerobio obligado
<i>C. botulinum no proteolítico</i>	3	0,97	5	5,0	Anaerobio obligado
<i>Clostridium perfringens</i>	12	0,95	7	5,0	Anaerobio obligado
<i>Escherichia coli</i> (VTEC)	7	0,95	8	4,0	Aerobio facultativo
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	0,92	12	4,3	Aerobio facultativo
<i>Salmonella</i> spp.	5	0,93	11	3,8	Aerobio facultativo
<i>Staphylococcus aureus</i>	7	0,86	19	4,0	Aerobio facultativo
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2	0,95	7	4,2	Aerobio facultativo

*cepas psicrotrofas y mesófilas.

En gris se destaca a los patógenos incapaces de crecer debido al valor de % sal máxima tolerable y a_w de los productos cárnicos curados de la Tabla 1.

Adaptada de *The Microbiological Safety and Quality of Food*. Vol I and II. Ed B.L.Lund, T.C. Baird-Parker and G.W. Gould. Aspen House Inc., Maryland 2000.

4. Cuantificación del efecto de la reducción de sal sobre el crecimiento microbiano en productos cárnicos curados mediante la aplicación de modelos predictivos

El efecto de la reducción de sal sobre un microorganismo sólo será cuantificable si podemos comparar dicho efecto antes y después de dicha reducción. En el presente estudio se aborda una reducción homogénea de sal, es decir, que el porcentaje de sal adicionado a los productos cárnicos curados disminuiría un 20%. Se considera que esta reducción es alcanzable, sin gran perjuicio para el sector cárnico. En la Figura 2 se muestra cómo la distribución de la concentración de sal, se desplazará hacia la izquierda de forma homogénea tras la reducción generalizada de un 20% de sal.

74

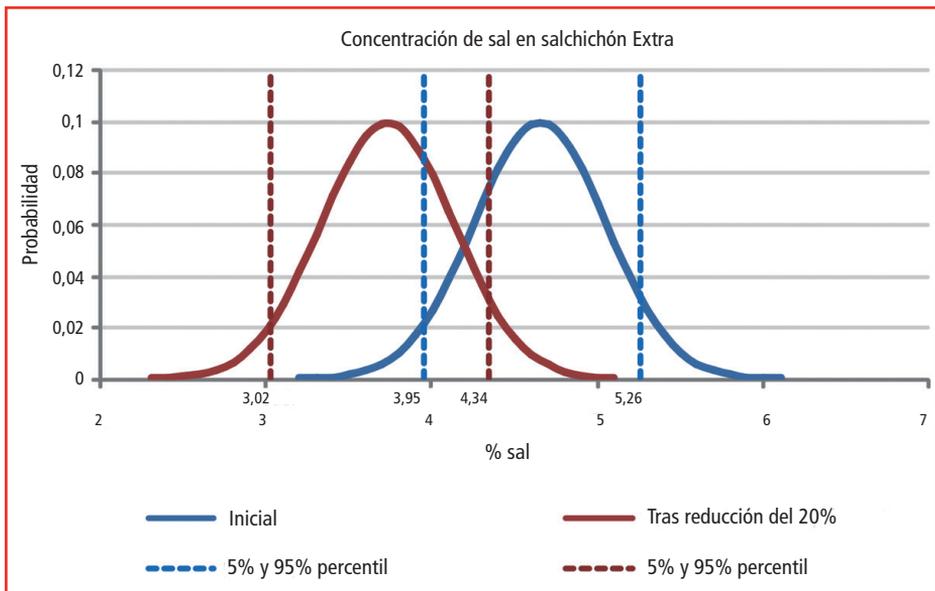
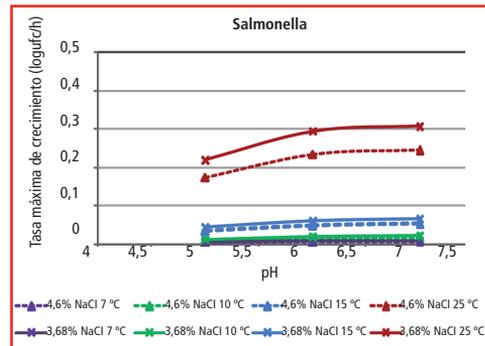
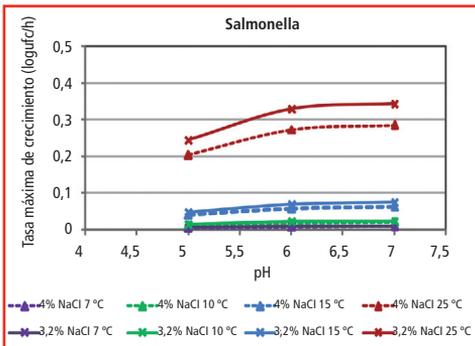
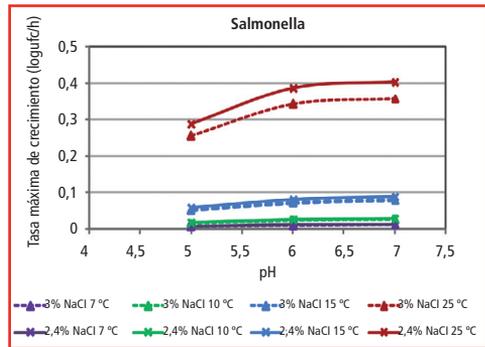
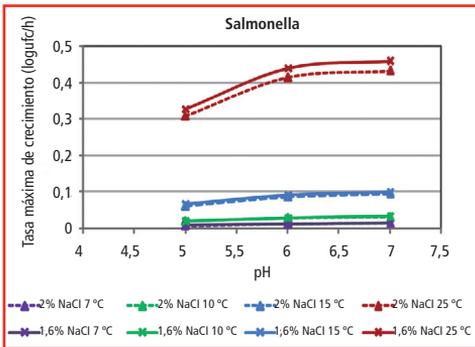


Figura 2. Concentración de sal inicial (azul) y después de reducir un 20% (rojo) en salchichón. Distribución de concentración de sal inicial $N(4,6, 0,4)$ a partir de datos de Fernández-Salguero (1995).

La microbiología predictiva permite obtener estimaciones del efecto de diferentes factores ambientales sobre el comportamiento de un microorganismo, la sal entre ellos. En la actualidad existe gran variedad de modelos predictivos, muchos de ellos incorporados en programas informáticos gratuitos y de fácil empleo, como son *ComBase Predictor* (www.combase.cc), generado en el *Institute of Food Research* (IFR, Norwich, UK) y *Pathogen Modeling Program* (www.arserrc.gov/mfs/pathogen.htm), desarrollado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Cada uno de estos programas incorpora un conjunto de modelos de crecimiento e inactivación de varios patógenos de interés en alimentos. El *Optiform@_Listeria Control Model 2007* (PURAC, *the Netherlands*) es un modelo terciario específicamente diseñado para predecir el crecimiento de *L. monocytogenes* en productos cárnicos listos para el consumo a diferentes niveles de lactato sódico, lactato potásico, diacetato sódico, cloruro sódico y humedad.

Para modelar el efecto de la reducción de la concentración de sal sobre el crecimiento de un patógeno, es necesario conocer parámetros como el pH, la temperatura o el porcentaje de sal (ó a_w) del producto. Con ayuda de *Combase Predictor*, se han obtenido predicciones de la tasa de crecimiento (μ_{max} ; h^{-1}) y fase de latencia (lag; h) de distintos patógenos seleccionados bajo diferentes condiciones de temperatura (4, 7, 10, 15 y 25 °C), pH (5,0; 6,0 y 7,0), y porcentajes de sal (2, 4, 6, 8%). Se calculó una reducción del 20% sobre el porcentaje de sal anterior, y con las mismas condiciones de temperatura y pH se volvió a calcular las tasas de crecimiento y fases de latencia.

Como cabía esperar, los valores de los parámetros de crecimiento son sensiblemente diferentes ante una reducción del 20% de sal para todos los microorganismos de interés en los productos cárnicos curados. Como ejemplo se muestra el comportamiento de *Salmonella* spp. en la Figura 3. Similares observaciones han sido puestas de manifiesto para diversos microorganismos y diferentes concentraciones de sal (Doyle y Glass, 2010).



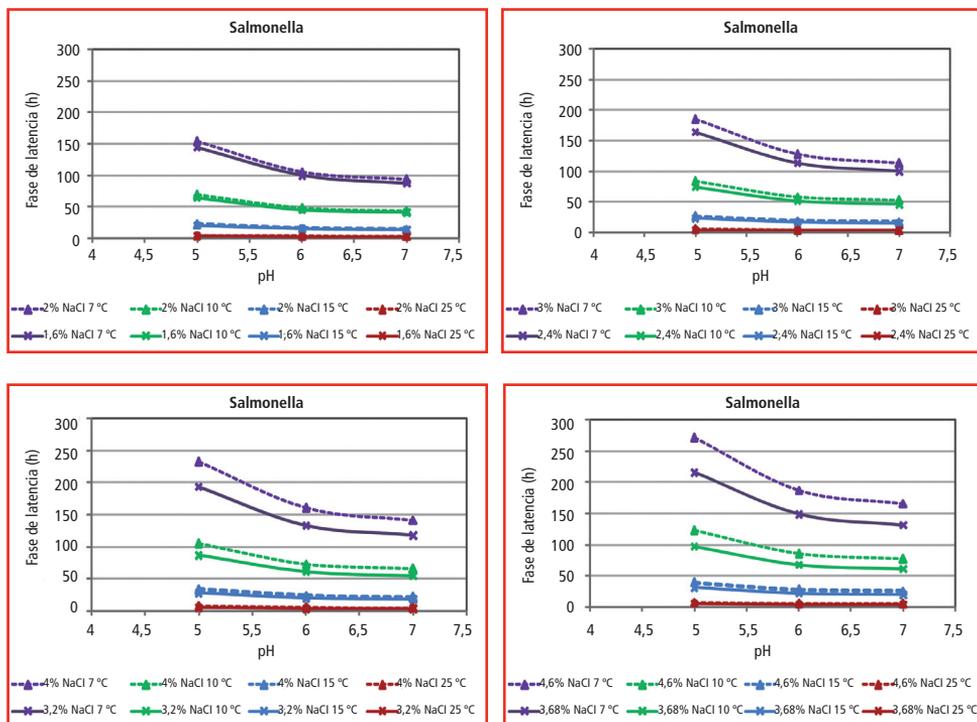


Figura 3. Efecto de la reducción del 20% del contenido de NaCl (2, 3, 4 y 4,6%) sobre la tasa máxima de crecimiento (h^{-1}) y fase de latencia (h) para *Salmonella* spp. a diferentes condiciones de pH (5, 6 y 7) y temperatura (7, 10, 15 y 25 °C).

Con estos parámetros cinéticos (μ_{max} y t_{inc}), se calculó el tiempo en incrementar la concentración bacteriana n unidades logarítmicas (t_{inc}) empleando la siguiente fórmula:

$$t_{inc} = \frac{\Delta \log}{\mu_{max}} + \lambda$$

donde t_{inc} (días) es el tiempo en incrementar n unidades logarítmicas, $\Delta \log$ = incremento de n unidades logarítmicas, y μ_{max} y λ son la tasa máxima de crecimiento (h^{-1}) y fase de latencia (h), respectivamente.

Comparando el t_{inc} obtenido antes y después de la reducción de sal, se puede calcular la reducción del t_{inc} causada por la disminución de sal, cuya fórmula es:

$$\% \text{ reducción del } t_{inc} = \left(1 - \left(\frac{t_{inc} \text{ a concentraciones de sal reducida}}{t_{inc} \text{ a concentraciones de sal inicial}} \right) \right) \times 100$$

El tiempo de incremento logarítmico (t_{inc}) para conseguir un aumento de la población microbiana de 10, 100, 1.000 o más veces (1, 2, 3 o más unidades logarítmicas), dependerá de las condiciones que imperan en el alimento y en el propio ambiente.

Cuando la sal añadida a un producto se ha reducido un determinado porcentaje, por ejemplo, el 20%, se crea un microambiente más favorable para el crecimiento de los microorganismos, reduciéndose por tanto el t_{inc} . La magnitud del efecto de esta reducción en el t_{inc} depende principalmente del contenido en sal de partida (en fase acuosa). La Tabla 6 ilustra cómo el porcentaje de reducción del t_{inc} para *Salmonella* spp. es muy similar en las distintas condiciones de temperatura, pH, e incremento logarítmico del microorganismo y sensiblemente diferente cuando se modifica el contenido en sal de partida (en fase acuosa).

Tabla 6. Porcentajes de reducción del t_{inc} para *Salmonella* spp.

T	pH	NaCl	NaCl -20%	t_{inc} 0,5 unidades (NaCl)	t_{inc} 0.5 unidades (NaCl-20%)	% reducción del t_{inc}	t_{inc} 2 unidades (NaCl)	t_{inc} 2 unidades (NaCl-20%)	% reducción del t_{inc}
7	5	2	1,60	8,708	8,190	6,0%	15,652	14,700	6,1%
10	5	2	1,60	3,928	3,692	6,0%	7,053	6,640	5,9%
15	5	2	1,60	1,254	1,181	5,8%	2,254	2,122	5,9%
25	5	2	1,60	0,254	0,239	5,9%	0,457	0,430	5,9%
7	6	2	1,60	5,988	5,656	5,6%	10,759	10,152	5,6%
10	6	2	1,60	2,738	2,579	5,8%	4,923	4,635	5,9%
15	6	2	1,60	0,894	0,842	5,8%	1,608	1,513	5,9%
25	6	2	1,60	0,189	0,178	5,7%	0,341	0,321	5,8%
7	7	2	1,60	5,296	4,985	5,9%	9,519	8,965	5,8%
10	7	2	1,60	2,454	2,311	5,9%	4,414	4,154	5,9%
15	7	2	1,60	0,820	0,774	5,6%	1,475	1,389	5,8%
25	7	2	1,60	0,181	0,171	5,7%	0,326	0,307	5,8%
7	5	4	3,20	13,191	10,949	17,0%	23,784	19,629	17,5%
10	5	4	3,20	5,952	4,958	16,7%	10,687	8,913	16,6%
15	5	4	3,20	1,897	1,582	16,6%	3,414	2,842	16,8%
25	5	4	3,20	0,385	0,321	16,8%	0,693	0,576	16,8%
7	6	4	3,20	9,087	7,560	16,8%	16,355	13,570	17,0%
10	6	4	3,20	4,148	3,473	16,3%	7,455	6,226	16,5%
15	6	4	3,20	1,355	1,130	16,6%	2,436	2,029	16,7%
25	6	4	3,20	0,287	0,240	16,4%	0,517	0,431	16,6%
7	7	4	3,20	8,039	6,695	16,7%	14,483	12,037	16,9%
10	7	4	3,20	3,720	3,107	16,5%	6,696	5,577	16,7%
15	7	4	3,20	1,240	1,034	16,6%	2,232	1,858	16,7%
25	7	4	3,20	0,275	0,229	16,6%	0,495	0,412	16,7%

Datos calculados a partir de estimaciones de tasa máxima de crecimiento y fase de latencia proporcionadas por el software ComBase Predictor.

Por tanto, en caso de que existan patógenos en el producto, el t_{inc} se vería reducido en función del contenido de sal inicial del producto, pudiéndose establecer una relación matemática entre el porcentaje de reducción del t_{inc} (debido a la reducción de sal del 20%) y el porcentaje de sal en la fase acuosa del producto.

Cada microorganismo con potencial para estar presente en el alimento, y con capacidad para crecer a concentraciones de sal compatibles con las que se encuentran en la fase acuosa del alimento, posee una mayor o menor sensibilidad a la reducción de sal, por lo que el riesgo derivado de una reducción de sal, vendría determinada por i) la probabilidad de aparición de patógenos en los productos estudiados, y por ii) una mayor reducción del t_{inc} de entre los patógenos presentes en los mismos.

i) La probabilidad de aparición de patógenos en el alimento es fundamental para evaluar la seguridad de los alimentos, presentando una mayor repercusión cuando su contenido en sal disminuye.

Los informes históricos de cada empresa alimentaria con información microbiológica de sus productos serán los recursos para evaluar la probabilidad de aparición de patógenos en los productos que elabora.

ii) La reducción del t_{inc} más alta de entre los patógenos de interés en los productos estudiados viene dada por la pendiente de la recta de regresión que se obtiene al representar la reducción del t_{inc} frente al porcentaje de sal añadida (en fase acuosa) (Figura 4).

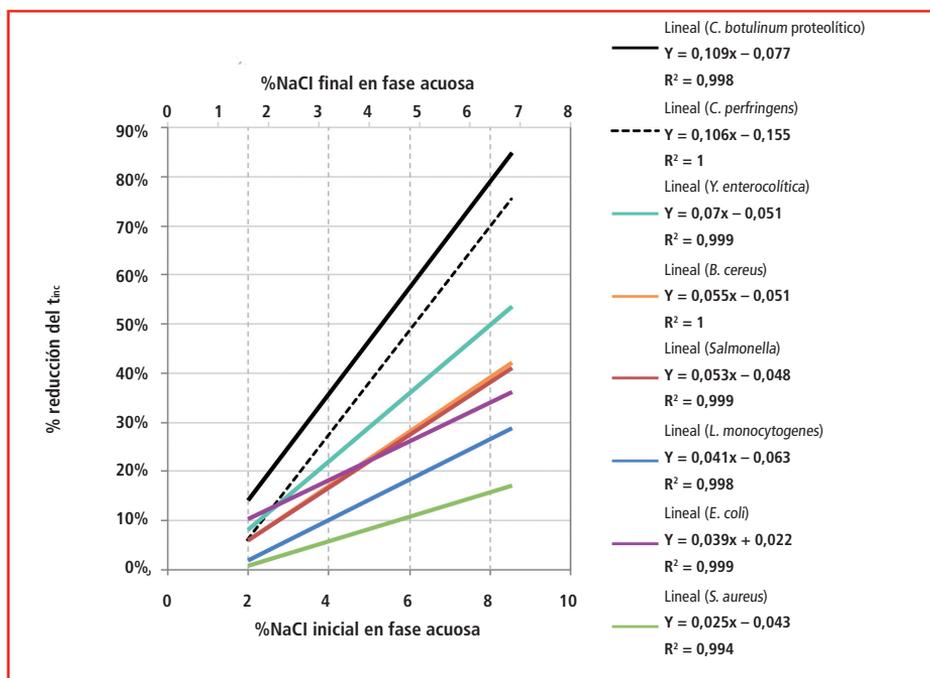


Figura 4. Rectas de regresión representando la reducción del t_{inc} para los patógenos seleccionados, causada por una reducción del 20% de sal inicial en fase acuosa (%).

Como se comentó anteriormente, los datos representados se han calculado a partir de datos de crecimiento (tasa de crecimiento y fase de latencia) proporcionados por el software *ComBase Predictor* (www.combase.cc). A mayor porcentaje de NaCl inicial se observa un mayor valor del % de reducción del t_{inc} , que será tanto mayor cuanto mayor sea la pendiente de la curva.

5. Limitaciones de los modelos predictivos

A pesar de la evolución significativa de los modelos predictivos en los últimos años, siguen existiendo ciertas limitaciones en su aplicación, ya que el control de todos los factores inherentes a los alimentos y microorganismos es complejo. Por lo tanto, las predicciones de los modelos, en general, deben ser interpretadas con precaución y no deben reemplazar por completo las evaluaciones individuales de los productos, especialmente a los que han sido sometidos a cambios substanciales en su formulación (Black y Davidson, 2008).

Muchos de los modelos disponibles actualmente están basados en tres factores ambientales considerados como los más influyentes sobre el crecimiento microbiano, como son temperatura, pH y concentración de NaCl en fase acuosa. Los modelos que incorporen factores adicionales tendrán, por tanto, una mayor flexibilidad en su aplicación. Algunos de los modelos de *ComBase Predictor* contemplan un cuarto factor (por ejemplo, dióxido de carbono, ácido láctico, etc.) para algunos microorganismos, pudiendo considerar el efecto combinado de varios factores, hasta un máximo de cuatro. Sin embargo, en muchas ocasiones son más de cuatro los factores (extrínsecos e intrínsecos) que operan en un alimento.

Aunque teóricamente es posible obtener un modelo con todos los factores ambientales que pueden ser representativos en un alimento, el desarrollo de los mismos depende en gran medida de la cantidad y calidad de los datos que los integran. Si se incrementa el número de variables a considerar en el modelo, aumentarán asimismo las combinaciones de factores que deben realizarse para construir una ecuación matemática. Los datos disponibles en *Combase* (base de datos) nos pueden proporcionar información valiosa sobre el efecto combinado de múltiples factores sobre el crecimiento y/o inhibición de microorganismos, pero el desarrollo de un modelo predictivo a partir de dicha información se hace sumamente complejo al no haber datos de todas las posibles interacciones entre las variables seleccionadas. Los modelos predictivos han de emplearse dentro del rango de condiciones ambientales bajo las cuales se diseñaron, ya que en caso contrario, se extrapolarían las estimaciones dando como resultado previsible predicciones erróneas.

Otras limitaciones de los modelos predictivos son que muchos de ellos (así como los incluidos en *Combase Predictor*) están elaborados en caldo de cultivo y no directamente sobre alimentos. La supervivencia y crecimiento de los microorganismos en los alimentos no depende tan sólo de su composición química y condiciones de almacenamiento, sino también de la estructura del alimento. En el caso de los productos cárnicos, de estructura heterogénea, el crecimiento de los microorganismos está determinado por el posicionamiento de las bacterias en el alimento. Ante esta situación, los modelos predictivos realizados sobre caldo de cultivo, tienden a sobreestimar el crecimiento microbiano en alimentos sólidos.

Por último, cabe resaltar que los modelos incluidos en *Combase Predictor* no consideran la influencia de los microorganismos alterantes o de los *stárter*s sobre el crecimiento de los patógenos.

Esta limitación hace que las predicciones calculadas sean más conservadoras, ya que distintos grupos microbianos alterantes o *stárter*s (por ejemplo, mohos y levaduras, bacterias ácido lácticas) ejercen un efecto bacteriostático sobre el crecimiento de varios patógenos, como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Enteritidis* (Maragkoudakis et al., 2009) ó *Staphylococcus aureus* (Castellano et al., 2008).

Los modelos predictivos empleados en el presente informe poseen un dominio, es decir, un rango de valores para cada factor que no necesariamente se corresponden con los valores limitantes para el crecimiento de los microorganismos de la Tabla 5. Así, para algunos microorganismos, se han realizado extrapolaciones para poder representar la Figura 4 con valores para el eje de abscisas de hasta el 8,5% sal inicial en fase acuosa. En la Tabla 7 se presenta el dominio de los modelos aplicados en el presente informe con *ComBase Predictor*.

Tabla 7. Dominio de los modelos predictivos de crecimiento (*ComBase Predictor*) de los patógenos seleccionados

Patógeno	Temperatura (°C)	pH	Sal (%)
<i>C. botulinum</i> proteolítico	14,0-40,0	4,7-7,2	0,0-7,5
<i>C. perfringens</i>	15,0-52,0	5,0-8,0	0,0-5,0
<i>Y. enterocolítica</i> *	-1,0-37,0	4,4-7,2	0,0-7,0
<i>B. cereus</i>	5,0-34,0	4,9-7,4	0,0-9,4
<i>Salmonella</i> *	7,0-40,0	3,9-7,4	0,0-4,6
<i>E. coli</i> *	10,0-42,0	4,5-7,5	0,0-6,5
<i>L. monocytogenes</i> *	1,0-40,0	4,4-7,5	0,0-10,2
<i>S. aureus</i>	7,5-30,0	4,4-7,1	0,0-13,5

*Estos modelos incluyen como factor adicional CO₂.

Como se puede comprobar, sólo los modelos para *B. cereus*, *L. monocytogenes* y *S. aureus* contemplan un % sal por encima de 8,5% (en fase acuosa). Los modelos de *ComBase Predictor* establecen como límite superior del rango de interpolación de sal (%), un valor inferior al tolerado por los patógenos (Tabla 5).

A pesar de estas limitaciones, el uso de los modelos predictivos puede proporcionar información rápida y eficaz acerca del comportamiento microbiano bajo condiciones ambientales determinadas, sobre todo si la información que se desea es de tipo relativo (por ejemplo, incrementos, reducciones...). Los modelos predictivos constituyen una herramienta de trabajo para la toma de decisiones en la industria alimentaria.

1. Modificación de las condiciones de procesado y almacenamiento

La reducción de la concentración de sal en el producto final podría llevar consigo la adopción de procesos tecnológicos alternativos para mantener el aroma, sabor y textura de producto cárnico original, así como su seguridad microbiológica.

Por ejemplo, el envasado de los productos cárnicos al vacío o en atmósfera modificada ejerce un efecto bacteriostático sobre los microorganismos. En este sentido, cabe la posibilidad de reducir el contenido en sal del producto y envasarlo posteriormente. No obstante, las carnes curadas deben ser envasadas en atmósferas anaerobias dado que la presencia de otras sales adicionadas durante el curado hace que el alimento sea más susceptible de sufrir alteración de tipo químico por rancidez oxidativa.

Otros estudios han sugerido un proceso de secado por aire de carnes procesadas, de forma que se consiga una reducción de la a_w que inhiba el crecimiento microbiano (Konstance y Panzer, 1985). Sin embargo, hay que tener en cuenta las posibles modificaciones organolépticas del producto final.

Por último, existe la opción de mejorar la calidad de la materia prima y la higiene del proceso, salvaguardando la seguridad microbiológica del producto final. Asimismo, la utilización de aerosoles u otras sustancias antimicrobianas pueden prevenir la alteración de los productos que poseen un contenido en sal reducido.

Durante el almacenamiento de los productos cárnicos, la microbiota presente puede desarrollarse cuando el contenido del producto en sal es reducido. Por tanto, como se ha visto anteriormente, el tiempo en que un patógeno potencial incremente n unidades logarítmicas (t_{inc}) será menor si el contenido de sal en el producto cárnico se ve reducido.

Como se puede ver en la Figura 4, se ha hallado una relación lineal entre el porcentaje de sal (en fase acuosa) en el producto y la reducción del t_{inc} , que varía según el microorganismo. En la práctica y también desde el punto de vista legislativo, durante el almacenamiento de alimentos listos para consumo, el microorganismo con mayor trascendencia para la seguridad de este tipo de alimentos es *Listeria monocytogenes*. En efecto, *L. monocytogenes* es un microorganismo ubicuo, muy resistente, con capacidad para formar *biofilms* y crecer en condiciones de refrigeración.

En el Reglamento (CE) N° 2073/2005 (UE, 2005), relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios, se establece el límite microbiológico de 100 ufc/g de *L. monocytogenes* en alimentos listos para consumo, siempre y cuando el explotador de la empresa alimentaria sea capaz de demostrar que no se supera dicha concentración a lo largo de su vida comercial. Si esto se ha conseguido demostrar para un determinado producto cárnico crudo curado con una determinada concentración de sal, cuando se reduce dicha concentración, habría que volver a demostrarlo, pues las condiciones son más favorables para el crecimiento del microorganismo. Para demostrar que *L. monocytogenes* no excede el límite de 100 ufc/g durante su vida comercial, además de los ensayos de inoculación del patógeno en el alimento, el empleo del concepto t_{inc} nos proporcionará una excelente aproximación para la gestión de la seguridad del producto. Para *L. monocytogenes*, la Figura 4 muestra la recta de regresión calculada a partir de datos de concentración inicial (en fase acuosa) y del t_{inc} . Así, por ejemplo, para un producto cárnico curado con una concentración de sal inicial (en fase acuosa) del

6%, por aplicación de la recta de regresión, cuando se reduce en un 20% (de un 6 a un 4,8% de sal), el porcentaje de reducción del t_{inc} sería del 18%; en otras palabras, el patógeno tardaría teóricamente un 18% menos en incrementar n unidades logarítmicas. Por tanto, cabe la posibilidad de adaptar la vida comercial del producto con respecto al comportamiento de *L. monocytogenes* frente a las nuevas concentraciones de sal, asimilando el porcentaje de reducción del t_{inc} como porcentaje de reducción de vida comercial.

2. Sustitución y/o reducción del cloruro sódico con otro tipo de cloruros

El NaCl es un aditivo multifuncional que afecta a la estabilidad microbiológica, el aroma, la textura y la capacidad de retención de agua. Esta naturaleza multifuncional hace muy difícil encontrar un sustitutivo directo para la sal, por lo que podría necesitarse el empleo de varios ingredientes.

Es conocido que los efectos de la sal sobre la solubilidad de las proteínas y la retención del agua se deben principalmente a la fuerza iónica del ión cloruro, por lo que podría sustituirse el cloruro sódico por otros cloruros como el de potasio, calcio, magnesio o litio sin pérdida de funcionalidad. Se ha demostrado que la sustitución en un rango del 25-40% del NaCl por otro tipo de sal no tiene ningún efecto significativo sobre el sabor y la textura de los productos cárnicos (Desmond, 2006).

El sustituto más frecuente es el cloruro potásico (KCl). El ión potasio es un osmoprotector acumulado por microorganismos como *L. monocytogenes* (Pachett et al., 1992). Se ha descrito que se puede sustituir el 35-50% de NaCl con KCl en productos cárnicos sin pérdida de funcionalidad, aunque niveles por encima del 50% pueden producir sabores amargos o metálicos (Collins, 1997). Asimismo, altos niveles de K puede tener consecuencias negativas sobre personas que padezcan insuficiencia renal. Cabe mencionar que los efectos osmóticos de las diferentes sales dependerán de su concentración molar y no de su peso. Así, en términos de peso, el KCl es menos efectivo que el NaCl. En lo que respecta a la estabilidad microbiológica, se ha indicado que KCl puede tener un efecto antimicrobiano similar a NaCl a molalidad equivalente sobre patógenos como *L. monocytogenes* y *S. aureus* (Cerrutti et al., 2001) (Bozariis et al., 2007) (Bidlas y Lambert, 2008). Con respecto a otras sales de cloruro, se ha comprobado que reducciones inferiores al 33% en el contenido de NaCl en productos cárnicos cocidos junto a la formulación de sales de $CaCl_2$ y $MgCl_2$ no afecta significativamente a la estabilidad del producto frente a *Lactobacillus sakei* (Samapundo et al., 2010a) y frente a *L. monocytogenes* (Samapundo et al., 2010b). En este sentido, se ha comprobado que $CaCl_2$ tiene una capacidad antimicrobiana superior al $MgCl_2$ y NaCl. Terrell et al. (1983) hallaron que la sustitución de NaCl (2,5%) por KCl o $CaCl_2$ no ejerció ninguna influencia sobre el crecimiento de microorganismos alterantes en carne picada de cerdo, como *Micrococcus* o *Moraxella*, y sólo *Lactobacillus* creció levemente en condiciones de refrigeración.

La utilización de mezclas de sales de cloruro puede ser considerado como una alternativa eficaz para reducir el contenido en sodio de los productos cárnicos (Ruusunen et al., 2002). Algunas de estas mezclas forman parte de productos comerciales, como por ejemplo Pansalt®, Lo® o Morton Lite Salt®, entre otras (Taormina, 2010). En el caso de esta última mezcla comercial (60:40 NaCl:KCl), se han hecho estudios sobre jamón curado, comprobándose que se conservan el sabor y aroma originales.

3. Utilización de otras sales

La adición de fosfatos a productos cárnicos se ha convertido en una práctica habitual al incrementar la capacidad de retención de agua. Los polifosfatos también solubilizan las proteínas, aunque empleando un mecanismo diferente al de la sal. Experimentos realizados en jamones bajos en sal mostraron que el uso del 1,8% de fosfato sódico o de 1,4% de fosfato potásico no difiere en cuanto a apariencia, textura y aroma (Ruusunen et al., 2002). Los fosfatos también influyen sobre el crecimiento bacteriano en productos cárnicos, siendo unos más inhibitorios que otros (Tompkin, 1984).

El ión fosfato se encuentra formando mayoritariamente sales de sodio, contribuyendo, por tanto, de manera importante al sodio total del alimento. Por ejemplo, el fosfato trisódico puede aportar concentraciones de Na de 42 mg por 100 g de alimento, de ahí que podamos afirmar que este tipo de sales no son el sustitutivo más adecuado para NaCl (Taormina, 2010).

Los ácidos orgánicos y sus sales se han empleado extensamente como aditivos para la conservación de alimentos. Sus efectos antimicrobianos se deben, por un lado, a la disminución del pH, y por otro lado, a la inhibición metabólica causada por las moléculas no disociadas. La forma no disociada es capaz de difundir a través de la membrana celular, disociándose dentro de las células, y liberando protones que acidifican el citoplasma. Las células gastan energía eliminando el exceso de protones y manteniendo el pH neutro interno. La efectividad de los ácidos orgánicos depende del pH, siendo normalmente más efectivos en alimentos ácidos que en neutros. También los ácidos orgánicos reducen la a_w hasta un 0,01, con los niveles de formulación empleados en la industria. Además, ciertas concentraciones intensifican el aroma salado de productos cárnicos (Price, 1997), aunque a partir de cierto nivel, podrían generar aromas ácidos, sobre todo en el caso del ácido acético.

Se ha demostrado que el lactato puede retrasar el crecimiento de *L. monocytogenes* y *C. botulinum*, siendo efectivo en cárnicos curados, además de extender su vida comercial (Glass et al., 2007a, 2007b) (Seman et al., 2008). Existe una amplia oferta de productos comerciales de cócteles o mezclas de sales de ácidos orgánicos que actualmente están disponibles en el mercado, siendo esto una demostración clara de la viabilidad tecnológica de este tipo de sustitutivos. Se apunta que puede existir una acción sinérgica entre distintas sales para frenar el crecimiento microbiano como por ejemplo, entre las sales de lactato y diacetato (Devlieghere et al., 2009). La combinación de diacetato potásico y lactato sódico es la base de varios productos PURAC® comercializados con los nombres Purasal® y Opto.Form PD 4. Estos productos han sido usados satisfactoriamente como sustitutivos de NaCl, hasta niveles del 40%, manteniendo las características propias del producto, y mostrando un importante efecto inhibitorio sobre *L. monocytogenes*. Además, PURAC® ha desarrollado una aplicación informática que permite la valoración previa del efecto de la sustitución del NaCl por sus productos comerciales (por ejemplo, PURAC FCC 80) sobre el crecimiento de *L. monocytogenes* teniendo también en cuenta otros factores en el alimento (pH, % humedad, etc.) junto a las condiciones de almacenamiento del mismo (temperatura y tiempo) (Doyle y Glass, 2010).

Los ascorbatos, que aunque se usan principalmente para acelerar el desarrollo de la pigmentación de los productos curados, y como agentes antioxidantes, también contribuyen a la estabilidad bacteriológica. Por otro lado, el sorbato, propionato y benzoato han mostrado una importante capacidad antimicrobiana contra mohos, levaduras y algunas bacterias, concretamente contra *S. aureus* y *Salmonella*, si bien su

uso se encuentra restringido a ciertos tipos de alimentos como es el caso del ácido sórbico, utilizado en bebidas isotónicas, y alimentos fermentados como los encurtidos (Chiple, 2005) (Stopforth et al., 2005).

4. Otros antibacterianos

La utilización de los *films* comestibles de pululano, que contienen el antimicrobiano sakacina A, han demostrado la efectividad en el control del crecimiento de *Listeria monocytogenes*.

El pululano, es un polisacárido polimérico formado a partir del almidón por el hongo *Aureobasidium pullulans*, que no tiene color, ni sabor, y es resistente al aceite y muy impermeable al oxígeno. Los *films* producidos con pululano muestran una mayor actividad antimicrobiana y una mejor regulación de la migración de moléculas antimicrobianas desde el *film* al interior del alimento, comparado con la adición directa de la sakacina A en productos cárnicos listos para su consumo.

La sakacina A es una bacteriocina producida por una cepa de *Lactobacillus*. Se produce de forma natural por organismos asociados con las carnes frescas, durante los procesos de fermentación y cuando se aplica a carnes, se limita el crecimiento de *Listeria monocytogenes*.

Conclusiones del Comité Científico

1. La reducción de la ingesta de sal tiene un efecto beneficioso en la prevención de la hipertensión arterial y las enfermedades cardiovasculares.
2. La aplicación del Plan de Reducción de sal (NaCl) en productos cárnicos curados, sin utilizar otro medio conservante en su lugar, puede representar un riesgo microbiológico que es necesario evaluar de forma individual para cada tipo de producto.
Podría ser necesario reformular estos productos o reducir su vida comercial para mantener un nivel similar de seguridad a la de los productos actualmente elaborados. Si la reducción de sal produce un aumento en la velocidad de crecimiento de microorganismos patógenos, el riesgo de contraer una enfermedad alimentaria podría incrementarse si no se realiza un adecuado ajuste de otros factores estabilizadores. Adicionalmente, siempre que se identifique un nuevo peligro, cualquier cambio en la formulación, procesado o condiciones de almacenamiento que pueda afectar a la seguridad o vida comercial de un producto, debe ser reevaluado y gestionado, tomando las medidas oportunas.
3. La magnitud del efecto de una reducción de sal en productos cárnicos curados es difícil de cuantificar, dado su complejo sistema de conservación. El efecto antimicrobiano de la sal variará con respecto a un determinado microorganismo, las condiciones ambientales, la presencia de otros conservantes y de otros microorganismos, así como de las condiciones de procesado y conservación. Por este motivo es difícil hacer recomendaciones globales sobre los niveles de seguridad microbiológica derivados de una reducción de la sal en estos productos.
4. Las medidas de gestión de la seguridad microbiológica para paliar la reducción de sal deberían basarse en el comportamiento de aquellos microorganismos patógenos cuyo crecimiento se ve más favorecido por la reducción del contenido de sal. Para valorar la sensibilidad de éstos a los cambios en la concentración de sal, se propone como parámetro la reducción del tiempo de incremento logarítmico (reducción del t_{inc}), siendo los más afectados *C. botulinum* proteolítico de entre los patógenos anaerobios obligados, y *Y. enterocolitica* de entre los patógenos aerobios facultativos.

En todo caso, los datos históricos de prevalencia de patógenos en los productos cárnicos de cada empresa alimentaria, serán primordiales para seleccionar el microorganismo patógeno en que han de basar sus medidas de gestión. Igualmente, cabe la posibilidad de adaptar la vida comercial del producto teniendo en cuenta el comportamiento de un determinado microorganismo a las nuevas concentraciones de sal, como es *L. monocytogenes*, traduciendo el porcentaje de reducción del tinc como porcentaje de reducción de vida comercial.

5. La aplicación de modelos de predicción y/o la realización de ensayos de inoculación son los procedimientos más adecuados para valorar si la formulación empleada para la elaboración de los productos cárnicos curados (con su contenido en sal reducido) y las condiciones de procesado y almacenamiento seleccionadas son apropiadas para obtener un producto seguro, en relación con los peligros microbiológicos, durante su vida comercial.

Referencias

- AESAN (2009). Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Plan de reducción del consumo de sal. Estrategia NAOS. Disponible en: http://www.naos.aesan.mspes.es/naos/ficheros/estrategia/Memoria_Plan_de_reduccion_del_consumo_de_sal_-_Jornadas_de_debate.pdf [acceso: 26-3-2009].
- Angus, F., Phelps, T., Clegg, S., Narain, C., den Ridder, C. y Kilcast, D. (2005). Salt in processed foods: Collaborative research project. Leatherhead Food International.
- Anonymous (2009). Disponible en: <http://www.salt.gov.uk/> [acceso: 26-3-2009].
- Beaglehole, R., Ebrahim, S., Reddy, S., Voute, J. y Leeder, S. (2007). Prevention of chronic diseases: a call to action. *The Lancet*, 370, pp: 2152-2157.
- Bidlas, E. y Lambert, R.J.W. (2008). Comparing the antimicrobial effectiveness of NaCl and KCl with a view to salt/sodium replacement. *International Journal of Food Microbiology*, 124, pp: 98-102.
- Black, D.G. y Davidson, P.M. (2008). Use of modeling to enhance the microbiological safety of the food system. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, pp: 159-167.
- Blesa, E., Aliño, M., Barat, J.M., Grau, R., Toldrá, F. y Pagán, M.J. (2008). Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. *Journal of Meat Science*, 78, pp: 135-142.
- Boyle, E.A.E., Sofos, J.N. y Schmidt, G.R. (1993). Depression of aw by soluble and insoluble solids in alginate restructured beef heart meat. *Journal of Food Science*, 58, pp: 959-967.
- Bozariis, I.S., Skandamis, P.N., Anastasiadi, M. y Nychas, G.J.E. (2007). Effect of NaCl and KCl on fate and growth/no growth interfaces of *Listeria monocytogenes* Schott A at different pH and nisin concentrations. *Journal of Applied Microbiology*, 102, pp: 796-805.
- Brown, I.J., Tzoulaki, I., Candeias, V. y Elliott, P. (2009). Salt intakes around the world: implications for public health. *International Journal of Epidemiology*, 38, pp: 791-813.
- Castellano, P., Belfiore, C., Fadda, S. y Vignolo. (2008). A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina. *Journal of Meat Science*, 79, pp: 483-499.
- Cerrutti, P., Terebiznik, M.R., de Huergo, M.S., Jagus, R. y Pilosof, A.M.R. (2001). Combined effect of water activity and pH on inhibition of *Escherichia coli* by nisin. *Journal of Food Protection*, 64, pp: 1510-1514.
- Chen, J., Gu, D., Huang, J., Rao, D.C., Jaquish, C.E., Hixson, J.E., Chen, C.S., Chen, J., Lu, F., Hu, D., Rice, T., Kelly, T.N., Hamm, L.L., Whelton, P.K., y He, J. (2009). Metabolic syndrome and salt sensitivity of blood pressure in non-diabetic people in China: a dietary intervention study. *The Lancet*, 373, pp: 829-835.
- Chiple, J.R. (2005). Sodium benzoate and benzoic acid. En libro: Antimicrobials in food. Davidson, P.M., Sofos, J.N. y Branen, A.L. editors. New York: Taylor & Francis, pp: 11-48.

- Collins, J.E. (1997). Reducing salt (sodium) levels in processed meat, poultry and fish products. En libro: *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products*. Ed. A.M. Pearson and T.R. Dutson. London, Blackie Academic and Professional, 14, pp: 282-287.
- Csonka, L.N. (1989). Physiological and genetic responses of bacteria to osmotic stress. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 53, pp: 121-147.
- Dall, T.M., Fulgoni, V.L., Zhang, Y.D., Reimers, K.J., Packard, P.T. y Astwood, J.D. (2009a). Potential health benefits and medical cost savings from calorie, sodium and saturated fat reductions in the American diet. *American Journal of Health Promotion*, 23, pp: 412-422.
- Dall, T.M., Fulgoni, V.L., Zhang, Y.D., Reimers, K.J., Packard, P.T. y Astwood, J.D. (2009b). Potential national productivity implications of calorie and sodium reductions in the American diet. *American Journal of Health Promotion*, 23, pp: 423-430.
- Desmond, E. (2006). Reducing salt: a challenge for meat industry. *Journal of Meat Science*, 74, pp: 188-196.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L., Bontenbal, E., Lamers, P.P. y Debevere, J. (2009). Reducing salt intake from meat products by combined use of lactate and diacetate salts without affecting microbial stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 44, pp: 337-41.
- Doyle, M.E. y Glass, K.A. (2010). Sodium Reduction and Its Effect on Food Safety, Food Quality and Human Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, pp: 44-56.
- Engstrom, A., Tobelmann, R.C. y Albertson, A.M. (1997). Sodium intake trends and food choices. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 65, pp: 704S-707S.
- European Cardiovascular Disease Statistics. (2005). British Heart Foundation Health Promotion Research Group. Department of Public Health, University of Oxford (United Kingdom).
- FDA (2007). Food and Drug Administration, U.S. Department of Health and Human Services. "Salt and Sodium; Petition to Revise the Regulatory Status of Salt and Establish Food Labeling Requirements Regarding Salt and Sodium; Public Hearing; Request for Comments." 21 CFR Part. 15.
- Fernández-Salguero, J., Gómez, R. y Carmona, M.A. (1994). Water activity of Spanish intermediate-moisture meat products. *Journal of Meat Science*, 38, pp: 341-346.
- Fernández-Salguero, J. (1995). Conservación de productos cárnicos por aplicación de factores combinados: Productos españoles de humedad intermedia y alta. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 35, pp: 233-246.
- Food Standards Agency (2003). Disponible en: <http://www.food.gov.uk/multimedia/spreadsheets/saltmodel.xls>
- Glass, K.A., McDonnell, L.M., Rassel, R.C. y Zierke, K.L. (2007a). Controlling *Listeria monocytogenes* on sliced ham and turkey products using benzoate, propionate, and sorbate. *Journal of Food Protection*, 70, pp: 2306-2312.
- Glass, K., Preston, D. y Veessenmeyer, J. (2007b). Inhibition of *Listeria monocytogenes* in turkey and pork-beef bologna by combinations of sorbate, benzoate, and propionate. *Journal of Food Protection*, 70, pp: 214-217.
- Gutiérrez, C., Abee, T., y Booth, I.R. (1995). Physiology of the osmotic stress response in microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, 28, pp: 233-244.
- Havas, S., Dickinson, B.D., y Wilson, M. (2007). The urgent need to reduce sodium consumption. *Journal of the American Medical Association*, 298, pp: 1439-1441.
- Hoffmann, I., y Cubeddu, L. (2007). Increased blood pressure reactivity to dietary salt in patients with the metabolic syndrome. *Journal of Human Hypertension*, 21, pp: 438-444.
- Konstance, R.P. y Panzer, C.C. (1985). Air drying bacon slices to reduce aw: an aniclostridial alternative to sodium nitrite. *Journal of Food Science*, 50, pp: 862-868.
- Leistner, L. (1992). Food preservation by combined methods. *Food Research International*, 25, pp: 151-158.
- Maragkoudakis, P.A., Mountzouris, K.C., Psyrras, D., Cremonese, S., Fischer, J., Cantor, M.D. y Tsakalidou, E. (2009). Functional properties of novel protective lactic acid bacteria and application in raw chicken meat against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enteritidis*. *International Journal of Food Microbiology*, 130, pp: 219-226.

- Morimoto, A., Uzu, T., Fujii, T., Nishimura, M., Kuroda, S., Nakamura, S., Inenaga, T., y Kimura, G. (1997). Sodium sensitivity and cardiovascular events in patients with essential hypertension. *The Lancet*, 350, pp: 1734-1737.
- OMS (2002). Organización Mundial de la Salud. Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Informe de salud del año 2002. Ginebra.
- Pachett, R.A, Kelly, A.F. y Kroll, R.G. (1992). Effect of sodium-chloride on the intracellular solute pools of *Listeria monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, pp: 3959-3963.
- Palar, K. y Sturm, R. (2009). Potential societal savings from reduced sodium consumption in the U.S. adult population. *American Journal of Health Promotion*, 24, pp: 49-57.
- Price, J.F. (1997). Low fat/salt cured meat products. En libro: *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products*. Ed. A.M. Pearson and T.R. Dutson. London, Blackie Academic and Professional, 12, pp: 242-256.
- Resnik, S.L. y Chirife, J. (1988). Proposed theoretical aw values at various temperatures for selected solutions to be used as reference sources in the range of microbial growth. *Journal of Food Protection*, 51, pp: 419-423.
- Rockwell, G.E., y Ebertz, E.G. (1924). How salt preserves. *Journal of Infectious Diseases*, 35, pp: 573-575.
- Ruusunen, M., Niemisto, M. y Puolanne, E. (2002). Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixtures. *Agricultural and Food Science in Finland*, 11, pp: 199-207.
- Samapundo, S., Ampofo-Asiama, J., Anthierens, T., Xhaferi, R., Van Bree, I., Szczepaniak, S., Goemaere, O., Steen, L., Dhooge, M., Paelinck, H., Dewettinck, K. y Devlieghere, F. (2010a). Influence of NaCl reduction and replacement on the growth of *Lactobacillus sakei* in broth, cooked ham and white sauce. *International Journal of Food Microbiology*, 143, pp: 9-16.
- Samapundo, S., Ampofo-Asiama, J., Anthierens, T., Xhaferi, R., Van Bree, I., Szczepaniak, S., Goemaere, O., Steen, L., Dhooge, M., Paelinck, H., Dewettinck, K. y Devlieghere, F. (2010b). Influence of NaCl reduction and replacement on the growth of *Listeria monocytogenes* in broth, cooked ham and white sauce. *Journal of Applied Microbiology*. In press.
- Searby, L. (2006). Pass the salt. *International Food Ingredients*, 1, pp: 6-8.
- Seman, D.L., Quickert, S.C., Borger, A.C. y Meyer, J.D. (2008). Inhibition of *Listeria monocytogenes* growth in cured ready-to-eat meat products by use of sodium benzoate and sodium diacetate. *Journal of Food Protection*, 71, pp: 1386-1392.
- Sofos, J.N. (1985). Influence of sodium tripolyphosphate on the binding and antimicrobial properties of reduced NaCl comminuted meat products. *Journal of Food Science*, 50, pp: 1379.
- Stopforth, J.D., Sofos, J.N. y Busta, F.F. (2005). Sorbic acid and sorbates. En libro: Davidson, P.M., Sofos, J.N., Branan, A.L., editors. *Antimicrobials in food*. New York. Taylor & Francis, pp: 49-90.
- Stringer, S.C. y Pin, C. (2005). Microbial risks associated with salt reduction in certain foods and alternative options for preservation. Technical Report. Institute of Food Research.
- Taormina, P.J. (2010). Implications of salt and sodium reduction on microbial food safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, pp: 209-227.
- Terrell, R.N., Quintanilla, M., Vanderzant, C. y Gardner, F.A. (1983). Effects of reduction or replacement of sodium-chloride on growth of *Micrococcus*, *Moraxella* and *Lactobacillus* inoculated ground pork. *Journal of Food Science*, 48, pp: 122-124.
- Tompkin, R.B. (1984). Indirect antimicrobial effects in foods: Phosphate. *Journal of Food Safety*, 6, pp: 13-27.
- Troller, J.A. (1986). Water relations of foodborne bacterial pathogens. An updated review. *Journal of Food Protection*, 49, pp: 656-670.
- UE (2005). Reglamento (CE) N° 2073/2005 de la Comisión, de 15 de noviembre de 2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. DO L 338 de 22 de diciembre de 2005, pp: 1-26.
- Whiting, R.C., Benedict, R.C., Kunsch, C.A. y Woychik, J.H. (1984). Effect of sodium chloride levels in frankfurters on the growth of *Clostridium sporogenes* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Food Science*, 49, pp: 351-355.
- World Action on Salt and Health (2009). Disponible en: <http://www.worldactiononsalt.com/> [acceso: 26-3-2009].