



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EFECTO DE LAS SALES SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE  
LAS PROTEÍNAS DE LA CARNE EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS  
CÁRNICOS Y SU REPERCUSIÓN EN LA SALUD DEL CONSUMIDOR”**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**VÍCTOR HUGO GONZÁLEZ RAMÍREZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX**

**2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: PROFESOR: MARCOS FRANCISCO BÁEZ FERNÁNDEZ**

**VOCAL: PROFESOR: EDUARDO MENDOZA MARTÍNEZ**

**SECRETARIO: PROFESOR: JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL**

**1ER. SUPLENTE: PROFESOR: LUCIA CORNEJO BARRERA**

**2° SUPLENTE: PROFESOR: KARLA MERCEDES DIAZ GUTIÉRREZ**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**

**ASESOR DEL TEMA:**

**M. en C. JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL**

**FIRMA: \_\_\_\_\_**

**SUSTENTANTE:**

**VÍCTOR HUGO GONZÁLEZ RAMÍREZ**

**FIRMA: \_\_\_\_\_**

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Índice de cuadros. ....   | 5  |
| Índice de figuras .....   | 6  |
| Introducción .....  | 8  |
| Objetivos.....  | 10 |
| <b>Capítulo 1.</b> Situación actual de la industria cárnica en México .....   | 11 |
| <b>Capítulo 2.</b> Métodos de elaboración de productos cárnicos más consumidos en México .....  | 23 |
| 2.1 Salchicha. ....   | 23 |
| 2.2 Jamón. ....   | 27 |
| 2.3 Chorizo. ....   | 31 |
| 2.4 Mortadela.....  | 34 |
| 2.5 Tocino.....   | 36 |
| <b>Capítulo 3.</b> Principales sales utilizadas en el desarrollo de productos cárnicos. ....  | 38 |
| 3.1 Función del cloruro de sodio en productos cárnicos. ....  | 38 |
| 3.2 Función de los nitritos y nitratos en los productos cárnicos. ....  | 40 |
| 3.3 Función de sales reductoras en productos cárnicos .....   | 43 |
| 3.4 Función de los fosfatos en productos cárnicos .....   | 44 |
| <b>Capítulo 4.</b> Modificación de las propiedades funcionales de las proteínas en los productos cárnicos por acción de las sales. .... | 47 |
| 4.1 Efecto del cloruro de sodio en las proteínas de la carne. ....  | 48 |
| 4.2 Efecto de los nitratos y nitritos en las proteínas de la carne. ....  | 52 |
| 4.3 Efecto de los fosfatos en las proteínas de la carne.....  | 55 |
| <b>Capítulo 5.</b> Efectos de las sales utilizadas en el desarrollo de productos cárnicos sobre la salud del consumidor. ....           | 57 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 5.1 Formación de N-nitrosaminas ..... | 58 |
| 5.2 Alto consumo de sodio.....        | 62 |
| 5.3 Reacciones de oxidación.....      | 64 |
| Discusión .....                       | 69 |
| Conclusiones .....                    | 74 |
| Referencias.....                      | 75 |

## **Índice de cuadros.**

**Cuadro 1.** Denominación comercial de salchicha.

**Cuadro 2.** Especificaciones técnicas de salchicha.

**Cuadro 3.** Aditivos permitidos para formulación de salchichas.

**Cuadro 4.** Denominación comercial de jamón.

**Cuadro 5.** Especificaciones técnicas de jamón.

**Cuadro 6.** Aditivos permitidos para la formulación de productos cárnicos troceados y curados.

**Cuadro 7.** Especificaciones técnicas de mortadela.

**Cuadro 8.** Especificaciones técnicas de tocino.

**Cuadro 9.** Propiedades funcionales de las proteínas de la carne en productos cárnicos.

**Cuadro 10.** Principales problemas causados por el exceso o ausencia de distintas sales.

**Cuadro 11.** Clasificación de nitrosaminas.

**Cuadro 12.** Principales aminas biogénicas.

**Cuadro 13.** Principales antioxidantes naturales.

## Índice de figuras

- Figura 1.** Volumen de producción de carne en canal y procesada.
- Figura 2.** Empleos generados por cada actividad de la industria cárnica.
- Figura 3.** Volumen y tendencia de producción de productos cárnicos.
- Figura 4.** Volumen de producción de jamones elaborados con carnes rojas.
- Figura 5.** Volumen y tendencia de producción de carnes frías y embutidos.
- Figura 6.** Volumen y valor de la producción de jamón.
- Figura 7.** Volumen y valor de la producción de salchichas.
- Figura 8.** Volumen y valor de la producción de carnes frías.
- Figura 9.** Área de salchichonería de Bodega Aurrera.
- Figura 10.** Área de salchichonería de Wal-Mart.
- Figura 11.** Área de salchichonería de Soriana.
- Figura 12.** Área de salchichonería de City Market.
- Figura 13.** Composición nutrimental de dos marcas de salchichas.
- Figura 14.** Proceso de elaboración de salchicha.
- Figura 15.** Proceso de elaboración de jamón cocido.
- Figura 16.** Costo promedio de 100 g de jamón de acuerdo a su clasificación
- Figura 17.** Proceso de elaboración de chorizo.
- Figura 18.** Proceso de elaboración de mortadela
- Figura 19.** Proceso de elaboración de tocino.
- Figura 20.** Acción de nitratos en productos cárnicos curados.
- Figura 21.** Mecanismo de reciclaje de nitratos, nitritos y óxido nítrico.
- Figura 22.** Efecto del cloruro de sodio en la estructura de las miofibrillas.
- Figura 23.** Estructura del anillo heterocíclico de la mioglobina.
- Figura 24.** Diversos estados de oxidación de la mioglobina.
- Figura 25.** Propuesta de mecanismo para el proceso del curado de la carne.
- Figura 26.** Estructura de N-nitrosoprolina y su parte descarboxilada N-nitrosopirrolidina.
- Figura 27.** Reacciones de auto oxidación inducidas por iones metálicos.

## Resumen

Una de las actividades pecuarias más importantes en México es la producción de carne, en el año 2014 se produjeron 6,165 toneladas de carne colocando al país en la posición siete dentro de los diez principales países productores de carne, lo cual implica una importante creación de empleos y un aporte significativo a la economía del país. Si bien se comercializa la carne en canal, por cuestiones prácticas y funcionales, en los últimos años ha incrementado la producción y el consumo de productos procesados. Anualmente se producen miles de toneladas de productos cárnicos, siendo los más importantes: salchicha, jamón, chorizos, mortadela y tocino. El volumen de producción justifica la importancia de estudiar los productos cárnicos, al ser consumidos por gran parte de la población. En general, ha habido una adaptación por parte de los productores a las posibilidades económicas de los distintos sectores de la población para ofrecer productos más accesibles, regulados por las normas correspondientes. Sin embargo, una disminución en el costo puede reflejar una baja calidad de materias primas o utilizar otras fuentes de proteínas más económicas. Principalmente el aspecto económico ha influido en las distintas presentaciones y tipos de productos existentes en el mercado. Las propiedades sensoriales de los productos cárnicos se atribuyen a la interacción de las sales añadidas durante el proceso con la matriz cárnica. Donde es importante resaltar que la interacción de cada sal modifica la funcionalidad de las proteínas de la carne. Una vez mostrada la relación sal-proteína es importante indicar que un exceso o ausencia de las mismas durante el proceso puede presentar un efecto adverso sobre la salud del consumidor, como la formación de nitrosaminas que son compuestos que pueden favorecer la aparición de distintos tipos de cáncer; reacciones de oxidación que pueden generar sabores no deseados y/o compuestos tóxicos y, por último, enfermedades cardiovasculares ocasionadas por un alto consumo de sodio. En esta última parte se debe evaluar cuánto es el aporte por el consumo de productos cárnicos en la aparición de estas enfermedades.

## Introducción

Los productos cárnicos tienen cualidades nutricionales destacables que no se encuentran en otros grupos de alimentos. Contienen proteínas de buena calidad, vitaminas y minerales indispensables. Se destaca especialmente el contenido en vitaminas del grupo B y minerales como el zinc, fósforo y hierro. Estos minerales tienen una alta biodisponibilidad en la carne, algo que no ocurre en otros alimentos, especialmente el caso del hierro.

El volumen de producción de productos cárnicos ha aumentado un 44.8 % en los últimos diez años, los embutidos son los productos cárnicos más consumidos siendo éstos una fuente importante de proteína en la dieta y su calidad puede variar de acuerdo a factores intrínsecos y extrínsecos (INEGI, 2015). En 2015 del volumen total producido, el 47.8% corresponde solamente a la producción de embutidos (Consejo Mexicano de la Carne, 2015).

Uno de los aditivos más utilizados en el desarrollo de productos cárnicos son las sales, las cuales se encargan de brindar la fuerza iónica necesaria para mejorar la funcionalidad de las proteínas durante su procesamiento y también son las responsables de impartir características sensoriales como: color, olor y sabor. Por otro lado, algunas de ellas se encargan de asegurar la inocuidad del producto e inhibir el crecimiento de *C. botulinum*. Sin embargo, el uso excesivo de sales puede producir efectos adversos, debido a las modificaciones químicas que sufren las proteínas y por su interacción con los demás componentes de la carne.

De acuerdo con la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, un aditivo se adiciona intencionalmente a los productos durante su elaboración para proporcionar o intensificar aroma, color o sabor, para mejorar su estabilidad o para su conservación. No obstante, no debe ser utilizado para encubrir defectos de materia prima o de proceso, entonces, es importante cuidar las cantidades de sales utilizadas en los productos cárnicos.

Algunas de las principales complicaciones al sobrepasar los límites permitidos varían de acuerdo al tipo de aditivo utilizado, desde efectos en la salud del consumidor por ejemplo problemas de hipertensión, causado por altas concentraciones de sodio, hasta la formación de nitrosaminas las cuales se ha encontrado que pueden tener actividad cancerígena al agregar nitratos y nitritos en exceso o si no se adiciona un reductor en la formulación. Además, al sobrepasar las cantidades permitidas puede repercutir en características no deseadas en el producto como resabio amargo, sabor salado excesivo, texturas jabonosas y variación en el color.

## **Objetivo general**

Conocer el efecto de las sales utilizadas en el desarrollo de productos cárnicos sobre la funcionalidad de las proteínas y su repercusión cuando se utilizan con malas prácticas de manufactura.

## **Objetivos particulares**

1. Conocer la situación actual de la industria cárnica en México, los productos cárnicos más consumidos y comprender su importancia en la economía, la alimentación y nutrición de la sociedad mexicana.
2. Explicar el proceso de elaboración de los productos cárnicos más consumidos en el país. Además, consultar la normatividad correspondiente que los regula para determinar propiedades físicas y químicas.
3. Hacer un listado de las principales sales utilizadas en el desarrollo de productos cárnicos, mencionando sus principales usos y la funcionalidad en los productos cárnicos.
4. Explicar la modificación de las propiedades funcionales y estructurales de las proteínas de la carne por acción de distintas sales.
5. Analizar el efecto adverso que puede producir el exceso de sales sobre la salud de los consumidores.

### Capítulo 1. Situación actual de la industria cárnica en México

México se encuentra dentro de los principales productores de carne a nivel mundial, generalmente está entre los principales diez productores de carne y en 2014 ocupó el séptimo lugar mundial en la producción de productos cárnicos. En el 2015 el volumen de producción nacional de carne fue de 6,165 mil toneladas de las cuales 1,035 corresponde a la producción de productos cárnicos y para este año se estima un ligero crecimiento en la producción (Figura 1) (Consejo Mexicano de la Carne, 2015).

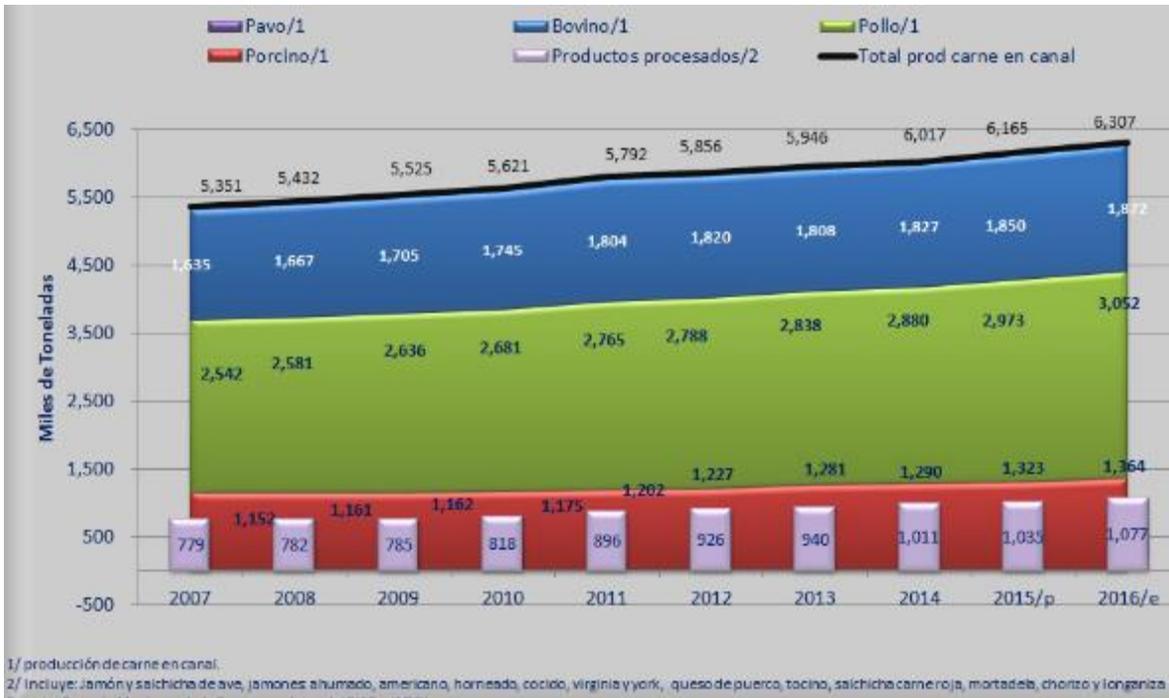


Figura 1. Volumen de producción de carne en canal y procesada (2005-2015) (Consejo Mexicano de la Carne con datos de INEGI, 2015).

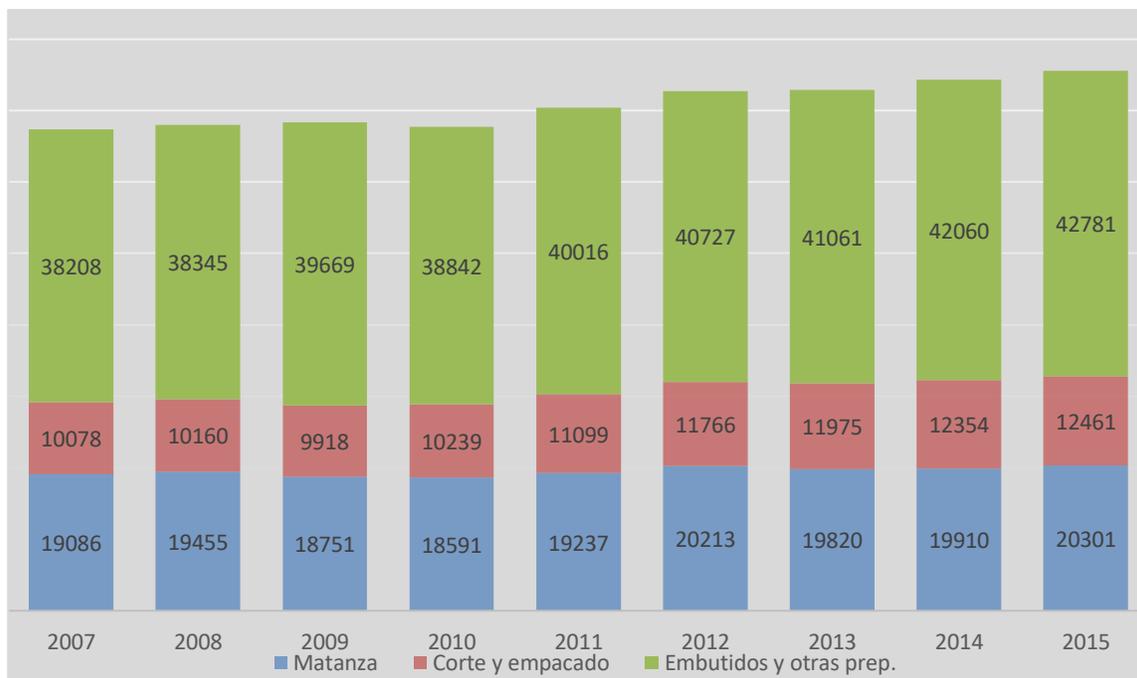
La mayor parte del volumen de la carne producida corresponde a la producción de carne de ave, tan solo en 2015 le corresponde un 48% del volumen de producción anual. En los últimos 8 años la producción de carne de ave ha crecido un 20 % mientras que la carne de bovino y porcino ha aumentado su producción un 13.1% y un 14.8% respectivamente.

Esto se debe a diversos factores, entre ellos, la presencia de carne de ave en distintos productos procesados por distintos fines, desde económicos hasta nutricionales.

Es importante resaltar la importancia económica de la producción de carne en el país, a pesar de ser uno de los principales productores, se le da más prioridad a la exportación de carne descuidando el abasto nacional; causando un encarecimiento de los productos al haber una menor oferta y la misma demanda, afectando principalmente la economía de las familias mexicanas, la cual de cada 10 pesos del gasto corriente destinado para alimentos 2.3 son para la compra de carne (INEGI, 2014).

La industria cárnica desde la matanza hasta el producto procesado, tiene un impacto en el PIB, el aporte en los últimos diez años se ha mantenido constante, lo que refleja su solidez e importancia en la economía nacional, constituye el 15% del PIB del sector agropecuario y de la industria de alimentos. Por último, en 2015 representó el 0.6% del PIB nacional que se fijó en 14.5 billones de pesos. (Consejo Mexicano de la Carne, 2015). Por lo que se considera como una importante fuente de empleo, teniendo como último registro 75,543 empleos en 2015 con una tendencia que va en aumento (Figura 2).

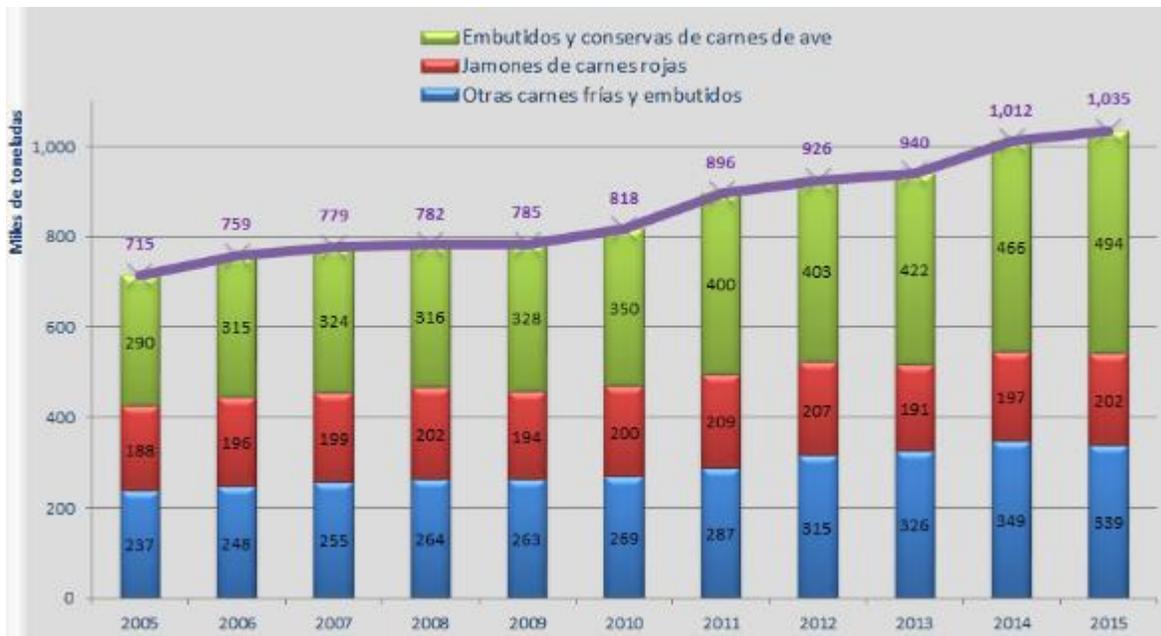
La maquila y venta de carne de canal es una de las actividades que se ha mantenido relativamente constante, en los últimos 8 años ha crecido un 6.4% el número de empleos generados, mientras que la venta de cortes de carne empacados es la que menor cantidad de empleo genera con 12,461 y constituye el 16.5% de los empleos generados por la industria cárnica en 2015.



**Figura 2.** Empleos generados por cada actividad de la industria cárnica (Consejo Mexicano de la Carne con datos de INEGI, 2015).

Por otro lado, la preparación de productos cárnicos es la actividad que mayor cantidad de empleos genera, generó el 56.6% de los empleos totales en 2015 y ha crecido esta actividad en un 12% durante los últimos 8 años. En otras palabras, esta actividad genera 1,337 empleos por cada estado, mismas familias que se ven beneficiadas favoreciendo el bienestar social y movilizandando la economía del país.

A pesar de que la variedad de productos cárnicos es inmensa el volumen de producción se compone en su mayoría en la producción de jamones y embutidos en sus diversas presentaciones (Figura 3 y 4), debido a múltiples factores entre ellos; económicos, culturales e incluso practicidad.



**Figura 3.** Volumen y tendencia de producción de productos cárnicos (2005-2015) (Consejo Mexicano de la Carne con datos de INEGI, 2015).

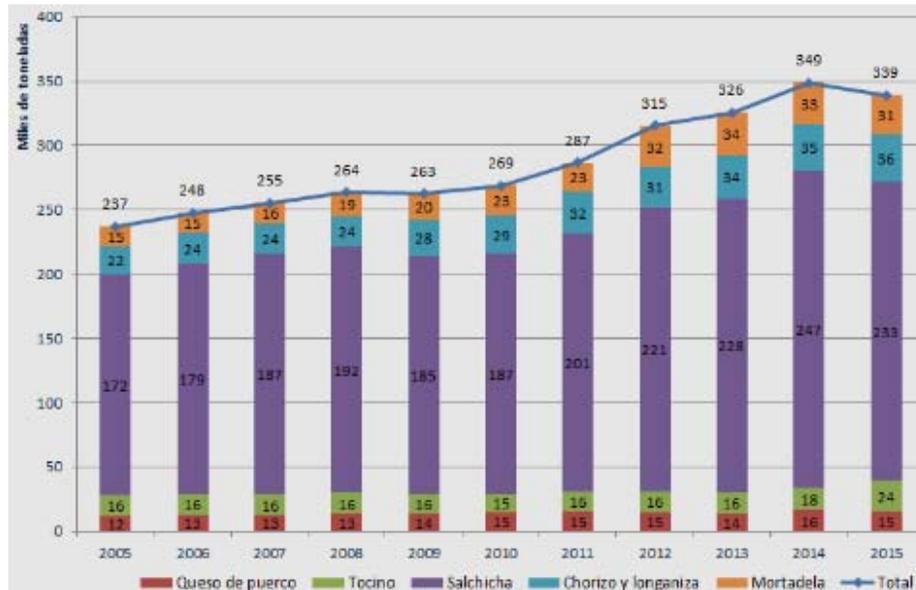
El volumen de producción de productos cárnicos ha aumentado un 44.8 % en los últimos diez años. En 2015, del volumen total producido, el 47.8% corresponde a la producción de embutidos de carne de ave, lo que justifica el aumento en la producción de carne de ave en los últimos años y el 19.5% a la producción de jamón de carnes rojas (Consejo Mexicano de la Carne, 2015).

La producción de jamón durante los últimos diez años ha tenido una serie de altibajos, sin embargo, ha tenido un ligero crecimiento del 7.4% durante los últimos diez años. Esta variación se asocia al aumento en enfermedades cardiovasculares, al desapruebo de la carne de cerdo por parte de la sociedad, sin embargo, las revitalizaciones y diferentes alternativas que presenta la industria al consumidor han hecho que a partir de 2013 aumente la producción (Figura 4).



**Figura 4.** Volumen de producción de jamones elaborados con carnes rojas (Consejo Mexicano de la Carne con datos de INEGI, 2015).

La extensión de línea en este tipo de productos cárnicos se justifica por la demanda cada vez mayor del consumidor, por productos con atributos específicos como sabor, precio, bajo contenido en grasa, sodio y la búsqueda de alimentos orgánicos y/o funcionales.



**Figura 5.** Volumen y tendencia de producción de carnes frías y embutidos (2005-2015) (Consejo Mexicano de la Carne con datos de INEGI, 2015).

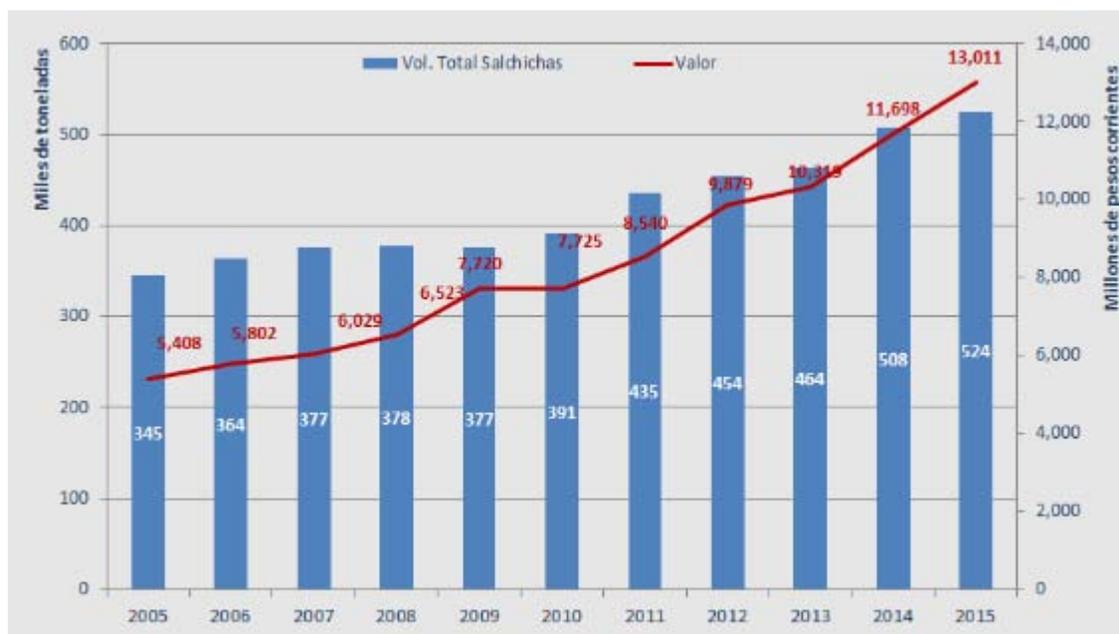
En la Figura 6 se puede observar la variedad y el volumen de distintos productos cárnicos elaborados, a pesar de ser una amplia gama la producción mayoritaria es de salchicha, en 2015 corresponde al 68.7% y en segundo lugar la producción de chorizo y longaniza con el 10.6%. Hasta ahora se ha tratado de mostrar un panorama acerca de la producción de carne y el tipo de alimentos procesados que se producen. Como se menciona anteriormente, el jamón, es uno de los productos de mayor consumo (Figura 6).



**Figura 6.** Volumen y valor de la producción de jamón (2005-2015) (Consejo Mexicano de la Carne con datos de SIAP, 2015).

Se observa que, en 2015, la producción de jamón tuvo un valor de \$19,061 millones, teniendo un notable aumento del 115% en los últimos 10 años. Dicho valor económico se conforma por el valor producido por los distintos tipos de jamón en el mercado. Por otra parte, la producción de jamón ahumado ha disminuido mientras que la producción de jamón de carne de ave aumentó un 73% los últimos 10 años.

Otro producto de alto consumo es la salchicha, que en comparación con el jamón ha tenido un crecimiento aun mayor, debido a que el valor de producción en 2005 fue de \$5,408 millones. Durante estos últimos diez años esta cifra creció un 140% ya que el valor generado en 2015 fue de \$13,011 millones (Figura 7).



**Figura 7.** Volumen y valor de la producción de salchichas (2005-2015) (Consejo Mexicano de la Carne con datos de SIAP, 2015).

En cuanto al volumen generado ha tenido un aumento constante, del 51.8%. Sin embargo, hay que resaltar el aumento en la producción que hubo en 2014, al producir 44 mil toneladas más en comparación al año anterior. Siendo este, el mayor aumento en los últimos diez años.

En una menor proporción se encuentran otro tipo de carnes frías que se producen en el país como: mortadela, chorizo, tocino y queso de puerco. Se puede observar que la producción de tocino y queso de puerco se ha mantenido constante, mientras que la producción de chorizo y mortadela ha aumentado un 105% y 63.6% respectivamente los últimos diez años (Figura 8).



**Figura 8.** Volumen y valor de la producción de carnes frías (2005-2015) (Consejo Mexicano de la Carne con datos de SIAP, 2015).

El valor de estos productos cárnicos es mucho menor en comparación al de jamón o salchicha, representa la tercera parte del valor de la producción de salchicha. Esto es razonable al no ser productos de consumo diario y en algunos casos de un costo mayor, la producción ha aumentado un 63% y su valor se ha duplicado en los últimos diez años.

Se visitaron distintas tiendas de autoservicio en la Ciudad de México y el Estado de México con la finalidad ilustrar mejor la variedad de tipos de productos cárnicos a la venta, de acuerdo con la tienda y la zona.

Se visitó una Bodega Aurrera localizada en Ixtapaluca, Estado de México. Estas tiendas de autoservicio están ubicadas en zonas con población de ingresos medios y bajos. Se observó que el área de salchichonería es muy pequeña y se enfoca en la venta de tres productos: salchicha, jamón y en menor cantidad tocino (Figura 9). Cabe resaltar la existencia de productos como chorizo, salchicha y tocino con la marca de la tienda y son relativamente más económicos en comparación con productos de marcas conocidas.



**Figura 9.** Área de salchichonería de Bodega Aurrera. **A)** Mostrador con distintos tipos de salchichas. **B)** Distintas marcas de chorizo en exhibición. **C)** Distintas marcas de tocino en exhibición. **D)** Distribución de espacio (Foto tomada por el autor).

Además, se visitó un almacén Wal-Mart ubicado en Texcoco, Estado de México. En comparación a Bodega Aurrera la venta también se enfoca en jamones y salchichas, sin embargo, hay una mayor apertura para otros productos cárnicos y no se encuentra la misma cantidad de productos de marca libre (Figura 10).

En esta tienda en comparación a Bodega Aurrera ya es posible encontrar otro tipo de productos cárnicos como chistorra, lomo embuchado, chorizo argentino, jamón serrano, bajo marcas que son pertenecientes a grupos transnacionales como Sigma y Nestlé.



**Figura 10.** Area de salchichoneria de Wal-Mart. **A)**Mostrador con distintos tipos de salchichas. **B)** Mostrador con distintos tipos de jamones. **C)** Mostrador con distintos tipos de productos carnicos. **D)**Mostrador con distintos tipos de productos carnicos selectos (Foto tomada por el autor).

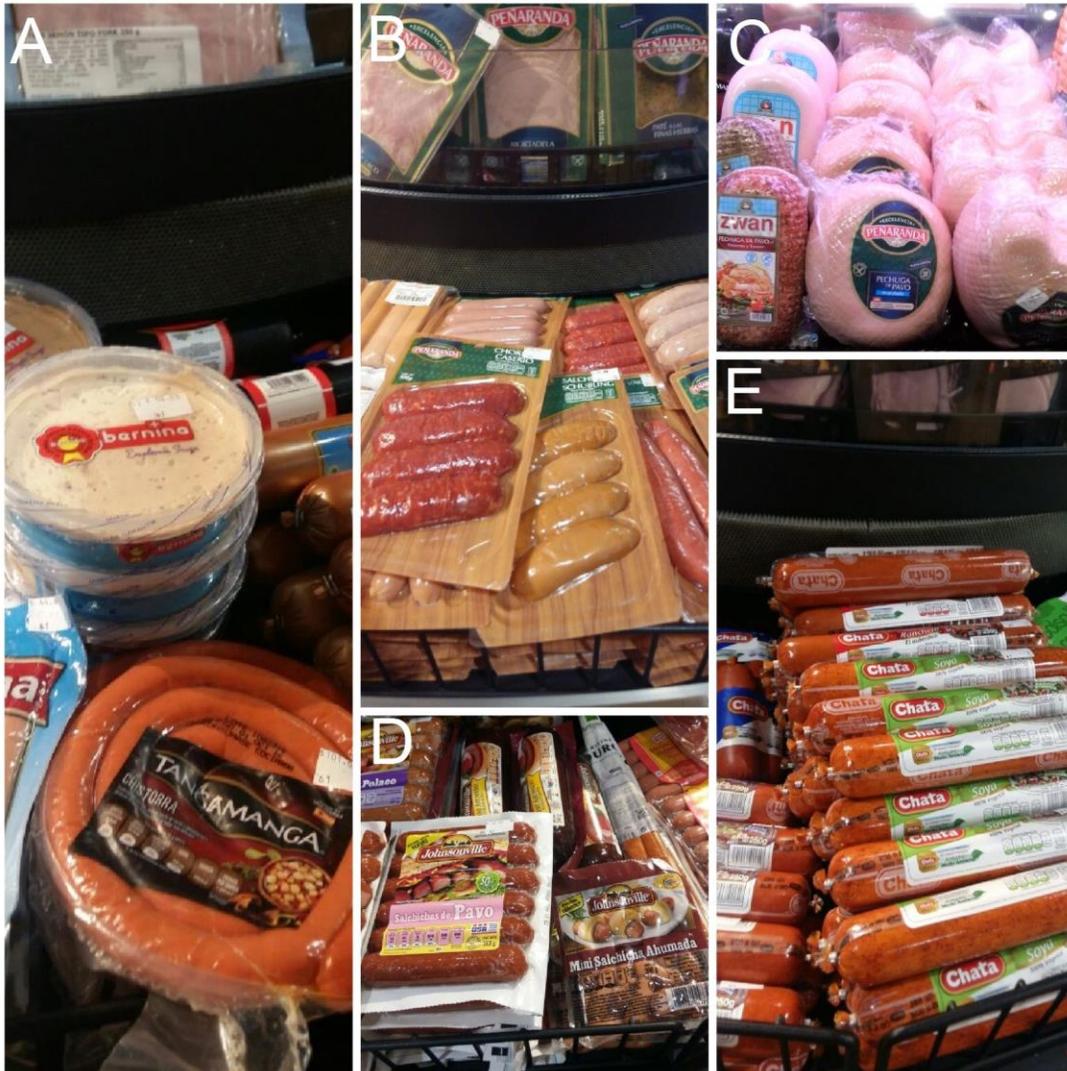
Por otra parte, se visitó una tienda Soriana, ubicada en Ixtapaluca, Estado de México. Esta tienda es la competencia directa de Wal-Mart, por lo tanto, se esperaría que la oferta de productos cárnicos fuera prácticamente igual. Se encontró que el área de salchichoneria es más grande y la cantidad de jamón que ofrece es mayor a la de Wal-Mart (Figura 11) sin embargo no cuenta con otro tipo de embutidos finos, en comparación con Wal-Mart.



**Figura 11.** Area de salchichoneria de Soriana. **A)** Distintos tipos de jamones. **B)** Distintos tipos de productos carnicos. **C)** Mostrador con distintos tipos de salchichas. **D)** Mostrador con distintos tipos de jamones (Foto tomada por el autor).

Por último, se visitó City Market en la Delegación Benito Juárez, Ciudad de México. Este establecimiento se especializa en la venta de artículos gourmet. Al visitar el área de salchichoneria, se encontró que es chica, pero tiene una gran variedad de productos. Es posible encontrar productos que en las otras tiendas no se encontraron, como paté, tipos específicos de salchichas, mortadela, incluso alternativas sin carne como chorizo de soya (Figura 12).

Los productos están dirigidos a clientes con un mayor poder adquisitivo, por lo tanto, la calidad y la variedad es mayor, no obstante, se encontró que el mismo jamón que se puede encontrar en Wal-Mart a un precio menor.



**Figura 12.** Area de salchichoneria de Citi Market. **A)** Chistorra y paté. **B)** Chorizo casero, salchicha y chorizo argentino **C)** Distintos productos de pavo **D)** Salchichas en diferentes presentaciones. **E)** Embutidos de soya (Foto tomada por el autor).

## Capítulo 2. Métodos de elaboración de productos cárnicos más consumidos en México.

### 2.1 Salchicha.

La salchicha es el producto cárnico más consumido en el país, está sujeto a las normas nacionales específicamente la NMX-F-065-1984, mismas que lo definen como un alimento embutido de pasta semifirme de color característico, elaborado con la mezcla de carne res, cerdo o pavo y grasas de las especies antes mencionadas, adicionando de condimentos, especias y aditivos. Para productores y consumidores es un producto cárnico ideal: puede ser elaborado con distintas formulaciones y de varias formas. Esta listo para su consumo, frío o caliente, requiere una preparación mínima y no se necesitan muchas habilidades para prepararlo. Además, la sal añadida, nitritos y el calentamiento mejoran la inocuidad y la vida de anaquel en comparación a la carne fresca (Toldrá, 2010).

De acuerdo con la NMX-F-065-1984, la denominación comercial de salchicha que se comercialice en territorio nacional se clasifica conforme a la presentación y deben tener un mismo grado de calidad (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Denominación comercial de salchicha. (Norma Mexicana NMX-F-065-1984)

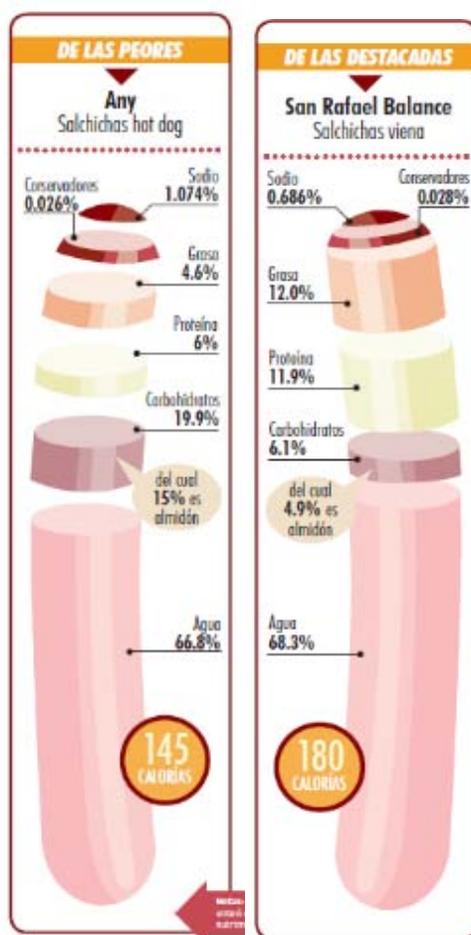
|                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| <b>Tipo I</b>   | Salchicha tipo Viena.     |
| <b>Tipo II</b>  | Salchicha tipo Frankfurt. |
| <b>Tipo III</b> | Salchichas para coctel.   |

La diferencia entre cada tipo de salchichas radica entre otras cosas a la longitud y el tamaño de las salchichas, además de la formulación de cada una. Sin embargo, las tres deben cumplir con las especificaciones técnicas descritas en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Especificaciones técnicas de salchicha (Norma Mexicana NMX-F-065-1984).

| Especificaciones | Mínimo en % | Máximo en % |
|------------------|-------------|-------------|
| Humedad          | ----        | 70          |
| Grasa            | ----        | 30          |
| Proteína         | 9.5         | ----        |

En 2010, la Procuraduría Federal del Consumidor realizó un análisis a los distintos tipos de salchicha a la venta, el estudio mostró que, a pesar de estar sujetos a la misma especificación, puede haber variaciones que afectan la parte nutricional. (Figura 13).



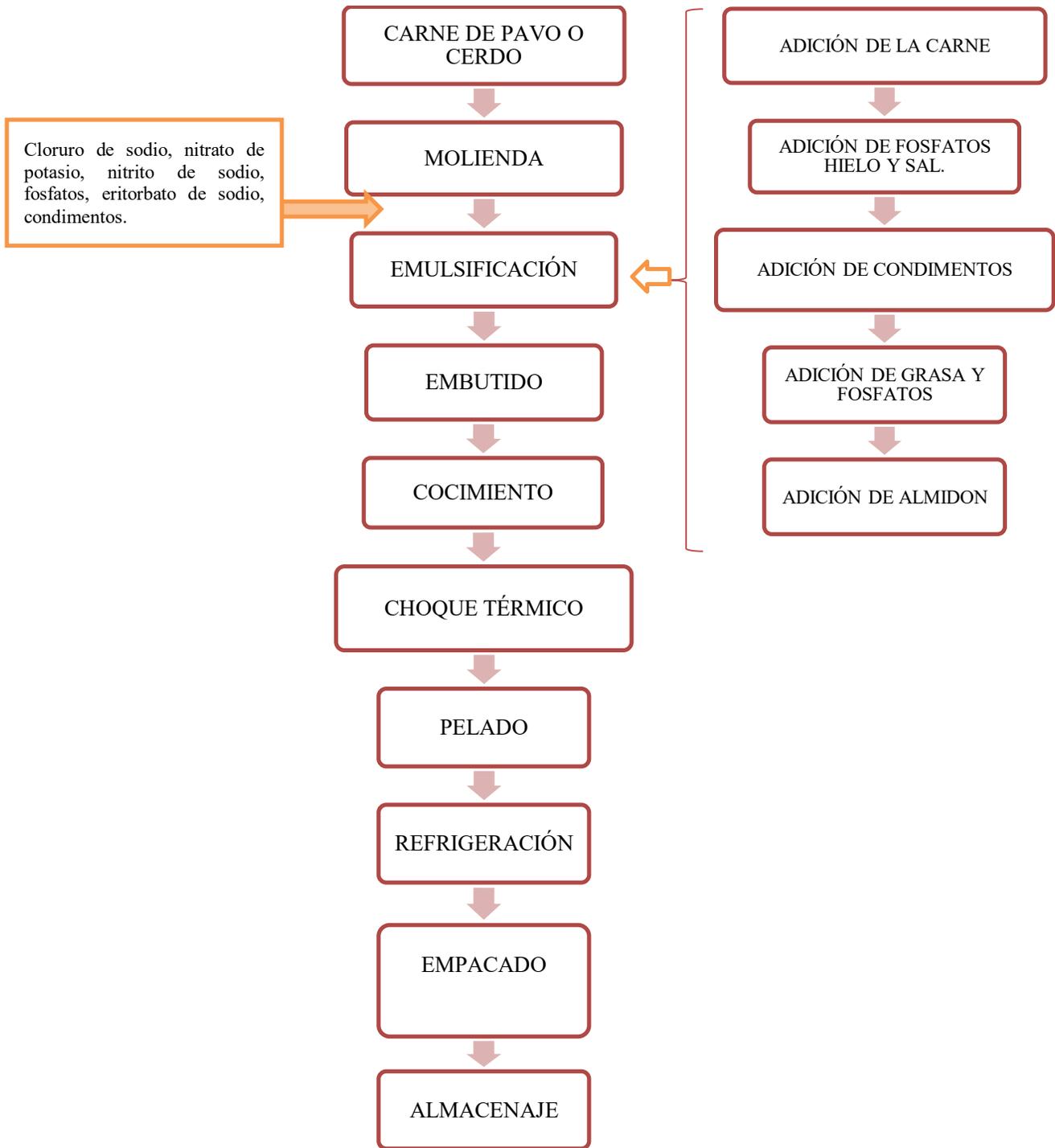
**Figura 13.** Composición nutricional de dos marcas de salchichas (Procuraduría Federal del Consumidor, 2010).

Se puede observar, como a pesar de que hay una regulación, al no ser de carácter obligatorio hay marcas que no cumplen con las especificaciones, en la Figura 11 se puede observar el comparativo entre dos marcas de salchicha cómo se triplica la cantidad de carbohidratos y se reduce a la mitad la cantidad de proteína. Se puede observar la presencia de sal y conservadores en ambos tipos de salchichas. De acuerdo con la NMX-F-065-1984 se permite el uso de los aditivos descritos en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Aditivos permitidos para formulación de salchichas (Norma Mexicana NMX-F-065-1984).

| <b>Función</b>        | <b>Aditivos</b>  |
|-----------------------|--|
| <b>Oxidantes</b>      | Nitrito y nitrato de sodio   |
| <b>Antioxidantes</b>  | Ascorbato y/o eritorbato de sodio.                                     |
| <b>Emulsificantes</b> | Polifosfato de sodio   |
| <b>Saborizantes</b>   | Sal, azúcares, glutamato monosódico, proteínas vegetales hidrolizadas. |

La adición de cada uno de estos ingredientes, tiene una premisa, misma que está relacionada con el tipo de elaboración, en algunos tipos de salchichas hay operaciones unitarias opcionales como el ahumado y la maduración, de manera general un proceso de elaboración de salchichas es el descrito en la Figura 14.



**Figura 14.** Proceso de elaboración de salchicha. (Modificado de: Toldrá, 2010).

## 2.2 Jamón.

De acuerdo con la NOM-158-SCFI-2003, el jamón es un alimento que puede ser preparado con la pierna trasera de cerdo, con muslo de pavo o una combinación de ambas. Con base a esto se establece el nombre que deben declarar en la etiqueta.

El proceso de elaboración de jamón cocido involucra el suministro de salmuera ya sea inyectada, por inmersión o masajeo, seguido de un tratamiento térmico. La calidad final depende tanto de la materia prima como del proceso. Los factores más importantes son el tipo de carne, el tipo y cantidades de ingredientes, el volumen de salmuera inyectado, el grado de masajeo y los tiempos y temperaturas de cocción (Toldrá, 2010).

De acuerdo con la NOM-158-SCFI-2003, la denominación comercial del jamón que se comercialice en territorio nacional se clasifica conforme a la descripción del Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Denominación comercial de jamón (Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003).

| <b>Denominación comercial</b>  | <b>Definición</b>   |
|--------------------------------|---|
| <b>Jamón o Jamón de pierna</b> | Los elaborados exclusivamente con carne de la pierna trasera del cerdo (con o sin hueso). |
| <b>Jamón de pavo</b>           | Los elaborados exclusivamente con carne del muslo del pavo.                               |
| <b>Jamón de cerdo y pavo</b>   | Los elaborados con un mínimo del 55% de carne de cerdo y el resto con carne de pavo.      |
| <b>Jamón de pavo y cerdo</b>   | Los elaborados con un mínimo del 55% de carne de pavo y el resto con carne de cerdo.      |

A partir de aquí se deben clasificar de acuerdo a su calidad nutricional, es decir, la cantidad de grasa y proteína libre de grasa que contiene (Cuadro 5).

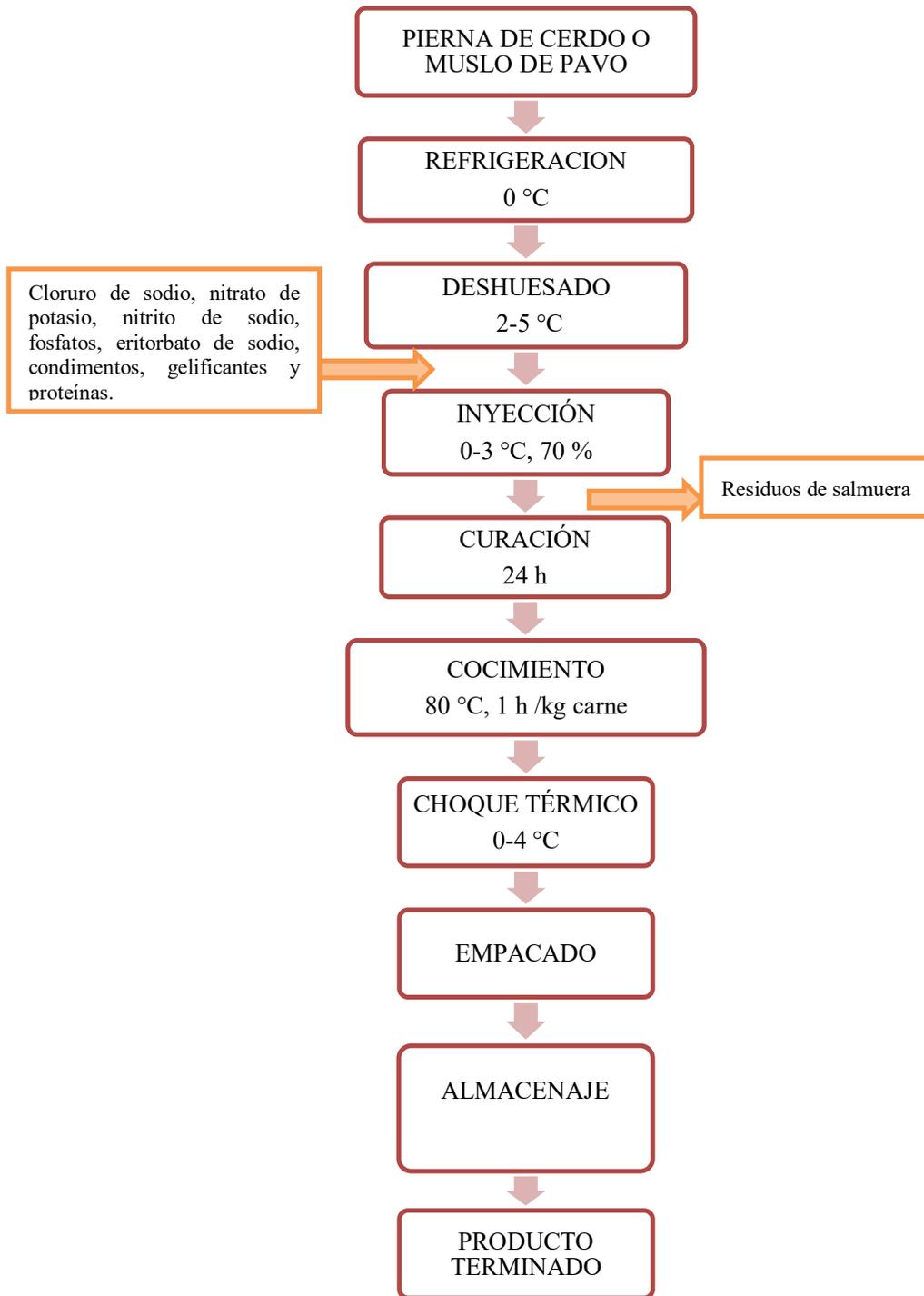
**Cuadro 5.** Especificaciones técnicas de jamón (g/ 100g de jamón) (Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003).

| <b>Clasificación comercial</b> | <b>PLG* mínimo</b> | <b>Grasa máximo</b> | <b>Humedad máximo</b> | <b>Proteína adicionada</b> | <b>Carragenina máximo</b> | <b>Fécula máximo</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Extrafino                      | 18                 | 6                   | 75                    | 0                          | 1.5                       | 0                    |
| Fino                           | 16                 | 6                   | 76                    | 2                          | 1.5                       | 0                    |
| Preferente                     | 14                 | 8                   | 76                    | 2                          | 1.5                       | 5                    |
| Comercial                      | 12                 | 10                  | 76                    | 2                          | 1.5                       | 10                   |
| Económico                      | 10                 | 10                  | 76                    | 2                          | 1.5                       | 10                   |

*\*PLG: Proteína libre de grasa*

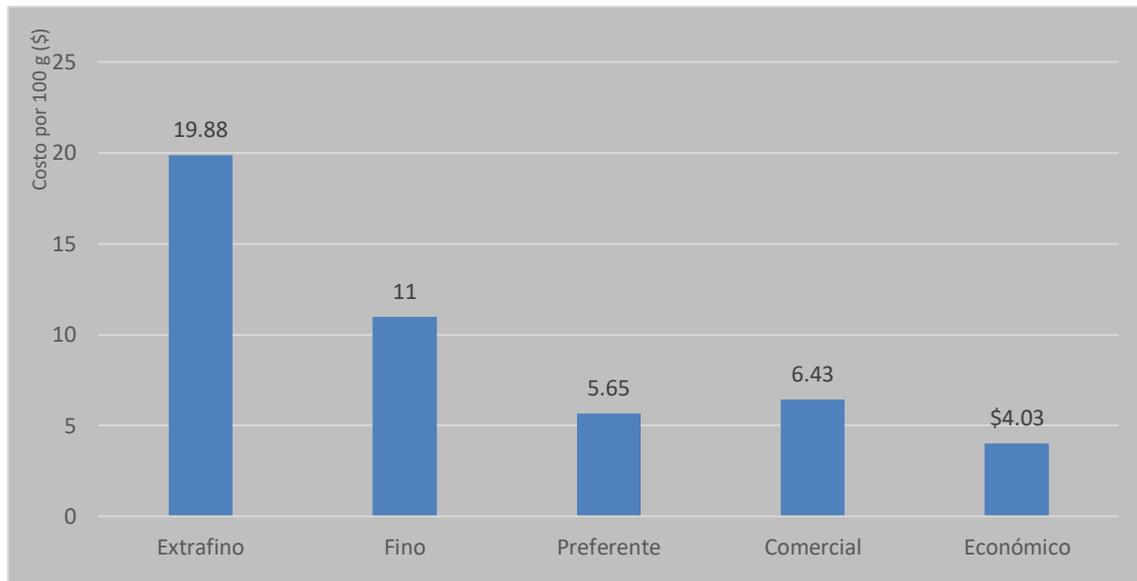
Se puede observar que la parte angular en esta clasificación es el contenido de proteína de cada uno que, al disminuir, se compensa con grasa y féculas. Un menor contenido de proteína compensado con féculas, implica una menor cantidad de carne utilizada, por lo tanto, un costo menor. El objetivo es obtener un producto con alta calidad sensorial. Los productos con mejor calidad son aquellos que tienen un contenido mayor en proteína y no contienen féculas.

La variedad de tipos de jamón es inmensa, algunas solo difieren en algún proceso unitario, de manera general el proceso de elaboración de jamón se describe en la Figura 15.



**Figura 15.** Proceso de elaboración de jamón cocido (Modificado de: Toldrá, 2010).

En el año 2013, la Procuraduría Federal del Consumidor realizó un estudio sobre la calidad del jamón en el cual obtuvo el precio de acuerdo al tipo y marca de jamón (Figura 16).



**Figura 16.** Costo promedio de 100 g de jamón de acuerdo a su clasificación (Procuraduría Federal del Consumidor, 2013).

En la Figura 16, se muestra un promedio de los costos de jamón, de acuerdo a su clasificación. El promedio se realizó con los costos de la mayoría de las marcas presentes en tiendas de autoservicio a la fecha del estudio y se puede observar que el precio aumenta, al aumentar la cantidad de proteína.

Es aquí donde radica la importancia de estudiar este producto, al producirse en grandes cantidades, es consumido frecuentemente por la mayoría de la sociedad, por lo tanto, tiene un impacto directo en la salud de la población mexicana. Cabe resaltar el hábito que posee la sociedad mexicana, que abusa de su consumo al alimentar a los niños casi diario, por cuestiones prácticas o de tiempo, causando un desequilibrio en la dieta.

Otro problema ocurre cuando se añade una cantidad excesiva de sal a diversos alimentos, como a derivados procesados de la carne. A pesar de estar presente en estos alimentos, los consumidores añaden más sal al prepararlos. Existe una relación entre el elevado consumo de sal y la aparición de la alta presión arterial o hipertensión con la edad (Totosaus, 2007).

### **2.3 Chorizo.**

El chorizo en sus diferentes presentaciones es de los productos más consumidos después del jamón y la salchicha, en comparación de estos dos productos, no es un producto cárnico que requiera algún tratamiento térmico durante su elaboración.

De acuerdo con la NOM-145-SSA1-1995, pertenece a los productos cárnicos troceados y curados al haber sido la carne curada, fue troceada o picada hasta lograr trozos no menores de 2 mm, pudiendo ser crudos, madurados y ahumados o no. Los otros productos correspondientes a este grupo son: longaniza, queso de puerco, salami cocido chistorra, etc.

Al ser una norma que aplica para diversos tipos de productos la cantidad de aditivos utilizados es mayor en comparación a los mencionados en las normas para jamón y salchicha.

**Cuadro 6.** Aditivos permitidos para la formulación de productos cárnicos troceados y curados (Norma Oficial Mexicana NOM-145-SSA1-1995).

| <b>Función</b>             | <b>Aditivos</b>  | <b>Función</b>           | <b>Aditivos</b>  |
|----------------------------|--|--------------------------|--|
| <b>Acelerador de color</b> | Glucono-delta-lactona  | <b>Conservadores</b>     | Ácido sórbico, propil parabeno, propionato de sodio,   |
| <b>Acentuador de sabor</b> | Glutamato monosódico, guanilato disódico, inosinato disódico, humo proveniente de maderas resinosas, sabor humo. | <b>Estabilizantes</b>    | Fosfatos mono y disódico, hexametáfosfato de sodio, pirofosfato de sodio, polifosfato de potasio, tripolifosfato de sodio, ácido algínico, agar-agar, alginato de propilenglicol, carragenina, goma karaya, goma guar. |
| <b>Agentes de curación</b> | Nitratos o nitritos de sodio o potasio   | <b>Reguladores de pH</b> | Ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, ácido fosfórico, ácido tartárico y ácido fumárico.  |
| <b>Antioxidantes</b>       | Ácido ascórbico, ácido eritorbico, alfa tocoferol, BHA, BHT, TBHQ  |                          |  |

El proceso necesario para elaborar productos cárnicos troceados y curados esta descrito en la Figura 17.



**Figura 17.** Proceso de elaboración de chorizo (Modificado de: Toldrá, 2010).

## 2.4 Mortadela

De acuerdo con la NMX-F-202-1971 se precisa que la mortadela es obtenida al ser sometida a un proceso de molienda, embutido, curado, cocido y ahumado. Puede ser elaborada con carne de res y mezclarla con carne y grasa de cerdo.

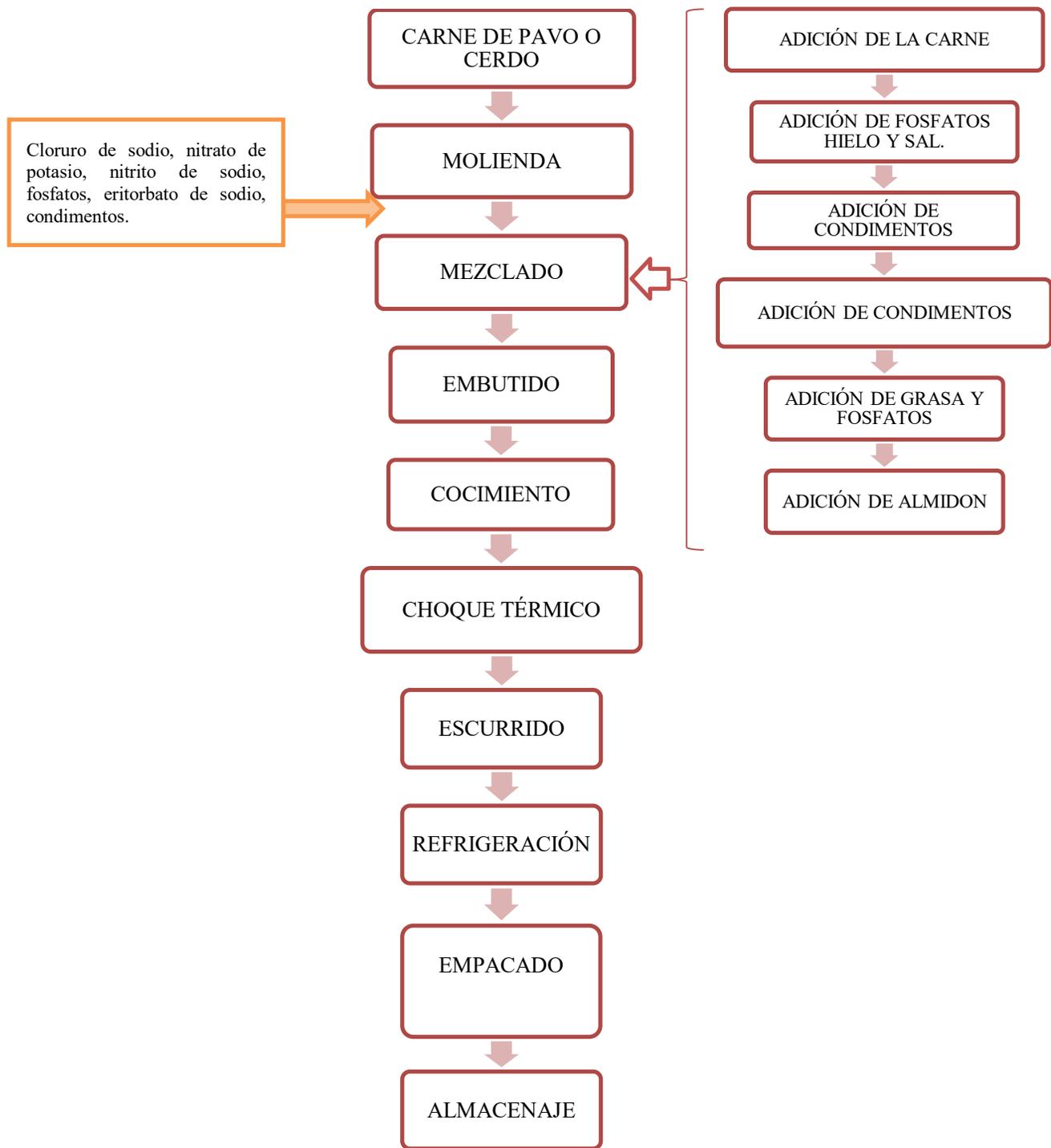
La diferencia entre la mortadela y otros tipos de embutidos es su formulación y su presentación, ya que es un embutido grueso similar al jamón (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Especificaciones técnicas de mortadela (Norma Mexicana NMX-F-202-1971).

| <b>Especificaciones</b> | <b>Mínimo en %</b> | <b>Máximo en %</b> |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Humedad</b>          | ----               | 60                 |
| <b>Grasa</b>            | ----               | 25                 |
| <b>Proteína</b>         | 14                 | ----               |
| <b>Nitritos</b>         | ----               | 200 ppm            |

Se puede observar que el contenido de grasa permitido es mayor en comparación al permitido con jamones.

La norma que regula a este alimento no precisa el uso y función de algún aditivo, no obstante, la NOM-122-SSA1-1994 aplica para este producto, por lo tanto, queda a disposición de la misma en función del uso de aditivos. El proceso de elaboración de la mortadela es vital para la obtención de las propiedades características del mismo y se describe en la Figura 18.



**Figura 18.** Proceso de elaboración de mortadela (Modificado de: Toldrá, 2010).

## 2.5 Tocino.

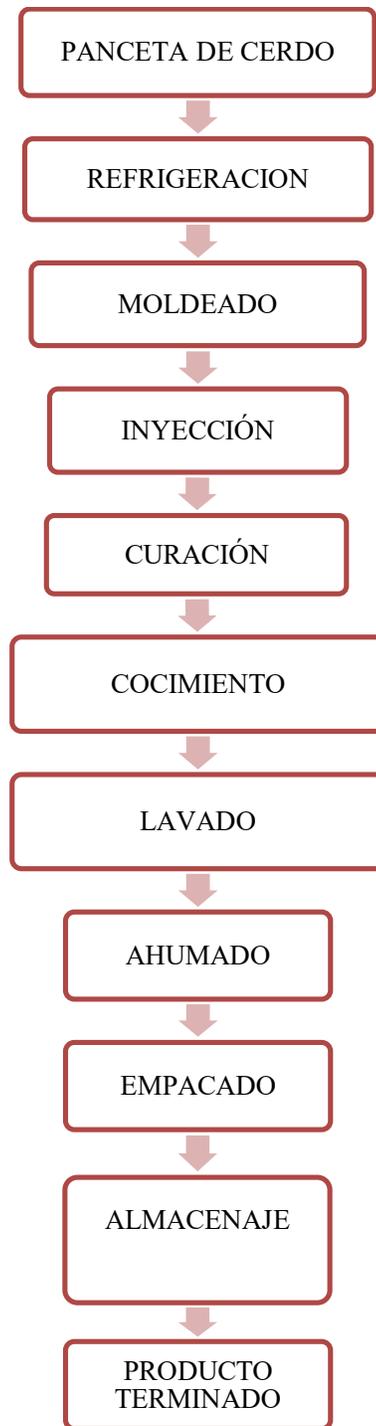
El tocino es un producto elaborado a partir del tejido adiposo de la pared abdominal de cerdo con o sin piel, sometido a un proceso de curado y ahumado. Para efectuar el proceso de curado se debe utilizar una salmuera que contenga cloruro de sodio, nitrito de sodio, nitrato de sodio, tripolifosfato, polifosfato y ortofosfato de sodio, condimentos, azúcares y conservadores, de acuerdo con la NMX-F-126-1969.

Por otra parte, debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas descritas en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Especificaciones técnicas de tocino (Norma Mexicana NMX-F-126-1969).

| <b>Especificaciones</b> | <b>Mínimo en %</b> | <b>Máximo en %</b> |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Humedad</b>          | ----               | 60                 |
| <b>Proteína</b>         | 7.5                | ----               |
| <b>Nitritos</b>         | ----               | 200 ppm            |

De la misma forma que la mortadela, la concentración de nitritos recomendada es mayor en comparación a otros productos procesados. Sin embargo, no precisa una concentración mínima o máxima de grasa que de pauta a una posible estandarización del producto. Aunado a que el alto contenido de humedad permitido podría favorecer la oxidación de los lípidos presentes. Por otro lado, al tener una cantidad muy baja de proteína podría ser una complicación tecnológica para la retención de agua.



**Figura 19.** Proceso de elaboración de tocino (Modificado de: Toldrá, 2010).

### **Capítulo 3. Principales sales utilizadas en el desarrollo de productos cárnicos.**

Cada una de las características sensoriales de los productos cárnicos, se debe al efecto de alguna de las distintas sales añadidas durante el proceso. Desde el color, la textura, el sabor hasta la vida de anaquel e incluso la calidad microbiológica son producto de las mismas. La gama de sales es inmensa, sin embargo, la NOM-213-SSA1-2002 solo permite el uso de algunas sales y en algunos casos especifica la cantidad permitida de cada uno, siendo las principales las siguientes:

- Ácido algínico y sus sales de sodio, potasio y propilenglicol.
- Ácido eritórbico y sus sales de sodio.
- Acido tartárico y sus sales de sodio y potasio
- Fosfato disódico
- Hexametáfosfato de sodio
- Nitratos o nitritos de sodio o potasio
- Propil-p-hidroxibenzoato
- Pirofosfato ácido de potasio y sodio
- Pirofosfato disódico y tetrasódico
- Trifosfato pentasódico

#### **3.1 Función del cloruro de sodio en productos cárnicos.**

El cloruro de sodio es uno de los ingredientes más antiguos utilizados para la conservación de los alimentos específicamente para carne y productos cárnicos. El mecanismo principal de conservación es la reducción en la actividad acuosa. Los microorganismos requieren agua para sobrevivir y crecer, la sal en solución forma enlaces con las moléculas de agua reduciendo la cantidad de agua disponible para los microorganismos. (Hutton, 2002).

La carne curada tiene una concentración más alta de sal que las células bacterianas. Las paredes celulares son semipermeables y permiten al agua pasar, pero no a la sal, como resultado de la presión osmótica la célula se deshidrata y muere. Además, imparte otros efectos bacteriostáticos (Ockerman, *et al*, 2014):

- El ion cloruro es tóxico para las bacterias celulares.
- La sal reduce la solubilidad del oxígeno en el tejido muscular creando un medio que retrasa el crecimiento bacteriano.
- La sal es un inhibidor enzimático y reduce la efectividad de algunas enzimas hidrolíticas.

El cloruro de sodio es altamente soluble, en solución forma iones sodio y cloro, los cuales modifican la fuerza iónica promoviendo la solubilización y extracción de las proteínas solubles; necesarias para estabilizar los sistemas coloidales presentes en los productos cárnicos. Para comprender mejor la función de la sal es conveniente conocer la función de los iones en solución. Los iones cloruro incrementan las cargas negativas de las proteínas, causando una repulsión entre éstas, lo cual produce una hinchazón y una parcial solubilización de los filamentos permitiendo una mayor fijación de agua.

Una posible hipótesis que explica el aumento en la capacidad de retención de agua fue descrita por Ruusunen y colaboradores en 2005 y menciona que los grupos polares de las cadenas laterales de aminoácidos de las proteínas ligan moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals. Las moléculas de agua al poseer carácter polar se orientan hacia los grupos polares formando una capa de agua adyacente.

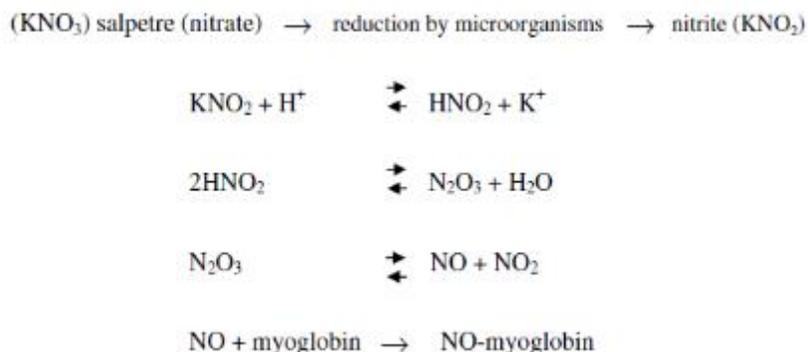
El cloruro de sodio no solo confiere un sabor propio, sino que también potencializa y modifica el sabor de otros ingredientes por acción del ion sodio. No obstante, el efecto de la sal se ve influenciado por la naturaleza física y química del alimento. Las propiedades potenciadoras probablemente estén relacionadas con la disminución de la actividad acuosa.

### 3.2 Función de los nitritos y nitratos en los productos cárnicos.

La sal ha sido utilizada por el hombre desde antes de los griegos para conservar la carne, aunque propiamente el nitrito de sodio era una impureza de la sal. Los romanos conscientes de su efecto la utilizaban para conservar la carne y curtidos. No obstante, fue hasta el siglo XIX cuando se dominó completamente el proceso de curado, desarrollándose diferentes técnicas en las variaban los tiempos y condiciones (Pegg y Shahidi, 2000). Hasta 1940 se creía que los nitratos y nitritos tenían propiedades antimicrobianas, debido que no se conocían otros factores como el pH y la humedad que influyen en el crecimiento microbiano (Subramanian, *et al*, 2014).

La industria cárnica se ha beneficiado por el uso de los nitratos y nitritos, al ser posible la producción de alimentos con mayor inocuidad alimentaria y una prolongada vida de anaquel con una excelente estabilidad de almacenaje. Además, las características sensoriales difícilmente pueden ser igualadas con algún otro ingrediente (Sindelar, *et al*, 2011).

Para comprender los principales efectos de los nitratos y nitritos que son: la capacidad de fijar color, efectos antioxidantes y antimicrobianos, es necesario comprender el mecanismo de acción involucrado (Figura 20) donde los nitratos y nitritos son reducidos hasta óxido nítrico.



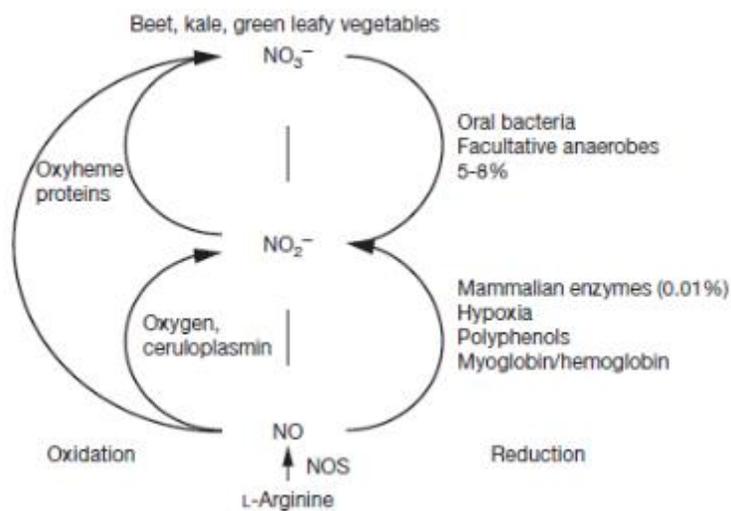
**Figura 20.** Acción de las sales de nitratos en productos cárnicos curados (Honikel, 2008).

A inicios del siglo XX se mostró que el nitrito no es el compuesto que se enlaza a las proteínas, se trata del ácido nitroso o su metabolito; el óxido nítrico, los cuales forman un complejo termoestable con la mioglobina.

Después de la formación de ácido nitroso a partir de la reducción de nitratos y nitritos, se puede generar su forma anhidra, la cual está en equilibrio con los nitritos y el óxido nítrico. Esta reducción puede ser realizada por bacterias o de manera enzimática (Honikel, 2008).

Las bacterias presentes en la carne o cultivos añadidos, tienen la capacidad de reducir los nitratos a nitritos. Asimismo, es posible generar nitratos y nitritos por la oxidación del óxido nítrico producido de manera endógena; mediante la enzima óxido nítrico sintasa, a través del sistema nervioso y el sistema inmune, contando con aminoácidos como sustratos (Figura 21) (Bryan, 2016).

La reacción de óxido nítrico con mioglobina forma la nitrosilmioglobina, complejo base para la formación de color el cual es inestable y con el tratamiento térmico es convertido a un compuesto termoestable conocido como nitrosilhemocromo (Alahakoon, *et al*, 2015).



**Figura 21.** Mecanismo de reciclaje de nitratos, nitritos y óxido nítrico (Bryan, 2016)

De acuerdo con la NOM-213-SSA1-2002 el límite máximo permitido de nitritos es de 156 ppm, este valor considera que la ingesta diaria admisible de nitratos y nitritos que son de 3.7 mg/kg pc y 0.07 mg/kg pc respectivamente y que la dosis fatal es de 22.5 mg/kg pc (Indyk y Wolland, 2011; Subramanian, *et al*, 2014). Para generar un cambio en la formación de color se requiere una concentración mínima de nitritos de 14 ppm, sin embargo, el color no es estable ni uniforme, es necesaria una concentración entre 50 y 200 ppm para asegurar una coloración estable y una actividad antimicrobiana (Sebranek, *et al*, 2007).

El efecto antioxidante de los nitritos involucra reacciones con hemoproteínas, iones metálicos, quelación de radicales libres y la formación de compuestos con propiedades antioxidantes. En 2011, Sindelar reportó que el efecto antioxidante se atribuye al ácido nitroso debido a que se puede unir y estabilizar con el grupo hemo durante el proceso de curado. Además, el oxígeno y otras sustancias reactivas pueden reaccionar rápidamente con el óxido nítrico y retardar la oxidación de lípidos. Esto se ha observado con una concentración mínima de 40 ppm de nitritos (Sebranek, *et al*, 2007).

El crecimiento microbiano en la carne está determinado por factores intrínsecos como pH, actividad acuosa, potencial oxido-reducción, disponibilidad de nutrientes y factores extrínsecos como temperatura y ausencia de oxígeno (EFSA, 2003). Se ha reportado que los nitritos son capaces de inhibir el crecimiento de microorganismos aerobios y anaerobios debido a que inactivan enzimas metabólicas, limitan la captura de oxígeno y pueden formar complejos con el hierro, cuya disponibilidad es necesaria para la funcionalidad de enzimas y el metabolismo bacteriano (Alahakoon, *et al*, 2015).

Las células vegetativas de *C. botulinum* contienen proteínas con grupos hierro azufre que reaccionan con los nitritos, formando complejos hierro-óxido nítrico, con la resultante desintegración del grupo hierro-azufre.

Además, la inactivación de las enzimas con grupo hierro-azufre (especialmente ferredoxina) por la formación de enlaces con el óxido nítrico, tentativamente podría inhibir el crecimiento celular y por lo tanto es probable que ese sea el mecanismo de inhibición botulínica por nitrito en los alimentos.

Algunos factores como el pH de la carne, el tratamiento térmico, la concentración de ascorbato, nitritos y la disponibilidad del hierro afectan directamente el crecimiento y producción de toxinas botulínicas (EFSA, 2003). En conclusión, la acción de los nitritos interviene principalmente en dos etapas del crecimiento de *C. botulinum* (Sindelar, 2011):

1. Impide el crecimiento de células vegetativas a partir de esporas
2. Previene la división celular de las células vegetativas.

### **3.3 Función de sales reductoras en productos cárnicos.**

La reducción de nitratos y nitritos a óxido nítrico es necesaria para el desarrollo de color y otras propiedades de los productos cárnicos, el uso de agentes reductores se ha vuelto una parte importante del curado de la carne (Sebranek, 2009). Además, se sabe que ayuda a mantener la mioglobina en su forma reducida favoreciendo la coloración roja de la carne (Phillips, *et al*, 2001).

Los agentes reductores usados con mayor frecuencia para procesar productos cárnicos son el ácido ascórbico, ácido eritorbico y sus respectivas sales de sodio. Estos reductores son facilitan la formación y fijación de color cuando son agregados de manera suficiente. Los ascorbatos y eritorbatos son ampliamente utilizados para ayudar a mantener y mejorar el color de productos cárnicos.

La función primaria de la forma ácida de estas sales consiste en la reducción de metamioglobina a mioglobina, acelerando la reacción de curado.

Bajo condiciones ideales, el ácido favorece la producción de óxido nítrico a partir de nitrito o sus metabolitos, esto probablemente al interactuar con el anhídrido nitroso en una reacción de óxido-reducción (Shahidi y Samaranayaka, 2014).

Por otro lado, los agentes reductores bloquean la formación de nitrosaminas carcinogénicas en productos cárnicos cocidos, al favorecer la reacción de formación de complejos estables de los nitritos previniendo la formación de nitrosaminas. Además, otras funciones de los agentes reductores son:

- Protección contra la rancidez.
- Reducción de la concentración de nitrito residual presente en los productos cárnicos.
- Reducción de la cantidad de oxígeno ocluido.

Para asegurar la función reductora se recomienda que por cada 100 ppm de nitrito de sodio se adicionen 500 ppm de eritorbato o ascorbato de sodio (Subramanian, *et al*, 2014).

Es imperativo cuidar que las salmueras que contengan estos agentes reductores se deben preparar a temperaturas menores a 10 °C, porque a temperaturas mayores el eritorbato rápidamente reducirá los nitritos, escapando antes de haber sido inyectado, resultando en un pobre o nulo desarrollo de color en el producto cocido (Xiong, 2004).

### **3.4 Función de los fosfatos en productos cárnicos.**

Los fosfatos son ampliamente usados en la carne y productos cárnicos debido a sus propiedades funcionales al aumentar la capacidad de retención de agua y reducir pérdidas durante el cocimiento (Ünal, *et al*, 2006). Son iones polivalentes que pueden formar estructuras muy grandes y el nombre que reciben varía de acuerdo al número de átomos de fósforo que tenga su estructura.

Hay al menos diez tipos de fosfatos siendo el pirofosfato de sodio y tripolifosfato de sodio, los más utilizados en la industria cárnica y varían ampliamente dependiendo de su solubilidad y estabilidad a diferentes valores de pH (Long, *et al*, 2011).

Al incrementar la longitud de dichas cadenas se confieren propiedades poli electrolíticas que permiten que las cadenas de fosfatos se fijen en los sitios específicos de las proteínas de la carne mejorando su solubilidad (Ünal, 2004). Los fosfatos comúnmente utilizados son alcalinos con el objetivo de incrementar el pH, poseen una solubilidad limitada, por lo tanto, es imperativo que se disuelvan aparte de las demás sales y gradualmente, para evitar la formación de agregados insolubles.

Hay al menos cuatro propiedades funcionales de los fosfatos que pueden ser utilizadas en los productos cárnicos (Wang, *et al*, 2009; Ockerman, *et al*, 2014):

- Disociación del complejo actomiosina mejorando la estabilidad de la emulsión.
- Incremento de la fuerza iónica.
- Incrementan el pH de la carne aumentando la capacidad de retención de agua y el sabor.
- Secuestro de iones metálicos disminuyendo su actividad pro oxidante.

Estas funciones aportan beneficios como; mayor fijación de agua, retardo de rancidez oxidativa, protección contra crecimiento microbiano, mejora de textura, aumento de sabor, desarrollo de color y estabilidad de la emulsión (Ünal, 2004). En los productos cárnicos, se asegura la protección contra la oxidación mediante antioxidantes e incluso nitratos y nitritos, pero en productos que no los contienen, los fosfatos protegen mediante la quelación de metales y la remoción de catalizadores que inician la oxidación.

Al aumentar el pH lejos del punto isoeléctrico hay una mayor solubilidad y una mejor capacidad de retención.

Además, puede retardar la reacción de curado del nitrito y extender el tiempo necesario para generar el suficiente óxido nítrico para un desarrollo uniforme de color. No obstante, este aumento se ha encontrado que ayuda a mantener el color durante su vida de anaquel (Sebranek, 2009).

La matriz miofibrilar es la mayor unidad responsable en la fijación de agua, al añadir fosfatos hay una modificación de las distribuciones de carga favoreciendo la disociación del complejo actomiosina, permitiendo la expansión de las miofibrillas y la eventual extracción de miosina proveniente del sarcómero.

Los cambios en la textura pueden atribuirse a que al disociarse el complejo se debilita la estructura del musculo y hay un mayor contenido de agua en la carne (Wang, *et al*, 2009).

Estos cambios bioquímicos y estructurales resultan en un sustancial ensanchamiento de las fibras del musculo aumentando el área de contacto. Al ligar estas proteínas los fosfatos pueden incrementar efectivamente las repulsiones de carga entre los miofilamentos y facilitan la remoción de proteínas miofibrilares transversales (Wang, *et al*, 2009; Xiong, 2005).

Por otra parte, al haber una mayor disponibilidad de las proteínas al aplicar un tratamiento térmico se forma una emulsión de mejor calidad, con una mejor textura y firmeza en comparación a productos cárnicos que no contienen fosfatos

Hay distintas formas de incorporar salmuera a un producto cárnico, generalmente este proceso está acompañado de un tiempo de reposo, en el cual, cada una de las sales presentes realiza su función característica. En el caso de los fosfatos, comienza a formarse una película superficial que impide la pérdida de agua al limitarse su difusión y se ha encontrado que podría formarse principalmente por tripolifosfato de sodio (Ünal, *et al*, 2006).

## Capítulo 4. Modificación de las propiedades funcionales de las proteínas en los productos cárnicos por acción de las sales.

Las proteínas son el mayor constituyente del músculo, componen cerca del 80% de los sólidos totales. Contienen todos los aminoácidos indispensables en una proporción ideal en comparación con la proteína de huevo que es uno de los patrones de referencia establecidos por la FAO. Basados en sus características de solubilidad las proteínas se dividen en tres grandes grupos: sarcoplasmáticas, miofibrilares y del tejido conectivo en un 35%, 65% y 15% respectivamente. A pesar de su escasa presencia, las proteínas del tejido conectivo tienen una participación en la calidad y palatabilidad de la carne y los productos cárnicos.

**Cuadro 9.** Propiedades funcionales de las proteínas de la carne en productos cárnicos (Xiong, 2004).

| <b>Propiedad</b>                     | <b>Mecanismo de acción</b>  | <b>Tipo de alimento</b>                         |
|--------------------------------------|---|---|
| <b>Retención y absorción de agua</b> | Interacción agua-proteína mediante puentes de hidrogeno; el agua es atrapada en la matriz miofibrilar   | Carne fresca; masajeada inyectada o marinada.   |
| <b>Solubilidad</b>                   | Interacción agua-proteína mediante puentes de hidrogeno; hay una repulsión de carga entre proteínas por la presencia de iones Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup> y fosfatos. | Carnes saladas y masajeadas                     |
| <b>Expansión</b>                     | Penetración de agua en la red miofibrilar   | Carnes marinadas                                |
| <b>Gelificación</b>                  | Formación de una matriz por proteínas miofibrilares extraídas bajo condiciones salinas  | Carne reestructurada, geles y espumas cárnicas. |
| <b>Cohesividad</b>                   | Mediante el gel formado con proteínas miofibrilares sirve como agente ligante.  | Carne reestructurada, jamón sin hueso,          |
| <b>Emulsificación</b>                | Mediante el gel formado con proteínas miofibrilares se reduce la tensión superficial, se forma una rígida membrana de proteína en la emulsión.                              | Salchichas                                      |

La funcionalidad de las proteínas puede ser definida como el desempeño físico y químico durante el proceso que influye en las características del producto final. Las principales funcionalidades deseadas en productos cárnicos son gelificación, cohesividad, emulsificación, y retención de agua (Cuadro 9) (Xiong, 2004).

El agua en la carne puede estar ligada o libre, generalmente se liga mediante puentes de hidrogeno, por otro lado, el agua libre se une mediante capilaridad en diferentes compartimentos del tejido muscular, por ejemplo, el espacio interfilamentos, entre y fuera de las miofibrillas.

Un gel proteínico se refiere a una entidad viscoelástica capaz de retener agua. Este proceso ocurre por un desdoblamiento y subsecuente asociación de proteínas extraídas, normalmente en presencia de sales. Es aquí donde las proteínas miofibrilares tienen un papel fundamental pues al ser extraídas en presencia de sal, la miosina se despolimeriza en monómeros y al formar el gel es reforzado por la actina (Xiong, 2004). La dureza de un gel depende de la fuente de proteína, tamaño, concentración, pH, fuerza iónica y tratamiento térmico.

Por otro lado, la emulsión es posible porque las proteínas son moléculas anfipáticas que contienen grupos hidrofóbicos e hidrofílicos, de forma que pueden estabilizar una emulsión donde la parte no polar interactúa con los lípidos y la parte polar se extiende en la fase acuosa reduciendo la energía libre y mejorando la estabilidad de la emulsión. Xiong en el año 2004, comentó que esto es posible gracias a dos mecanismos:

- El recubrimiento de las partículas de grasa con una especie de película proteínica.
- La inmovilización de las partículas de grasa en matrices proteínicas mediante el encapsulamiento físico.

#### **4.1 Efecto del cloruro de sodio en las proteínas de la carne.**

Para comprender el efecto del cloruro de sodio, es necesario comprender la estructura de la carne, ocurriendo dos fenómenos principales: contracción y relajación de las miofibrillas.

Las miofibrillas poseen cerca de un 80% de agua, siendo almacenada en los espacios entre filamentos delgados y gruesos. Este espacio es constante y puede variar con el pH, longitud del sarcómero, fuerza iónica, presión osmótica y si el músculo se encuentra relajado o contraído (Astruc, *et al*, 2008).

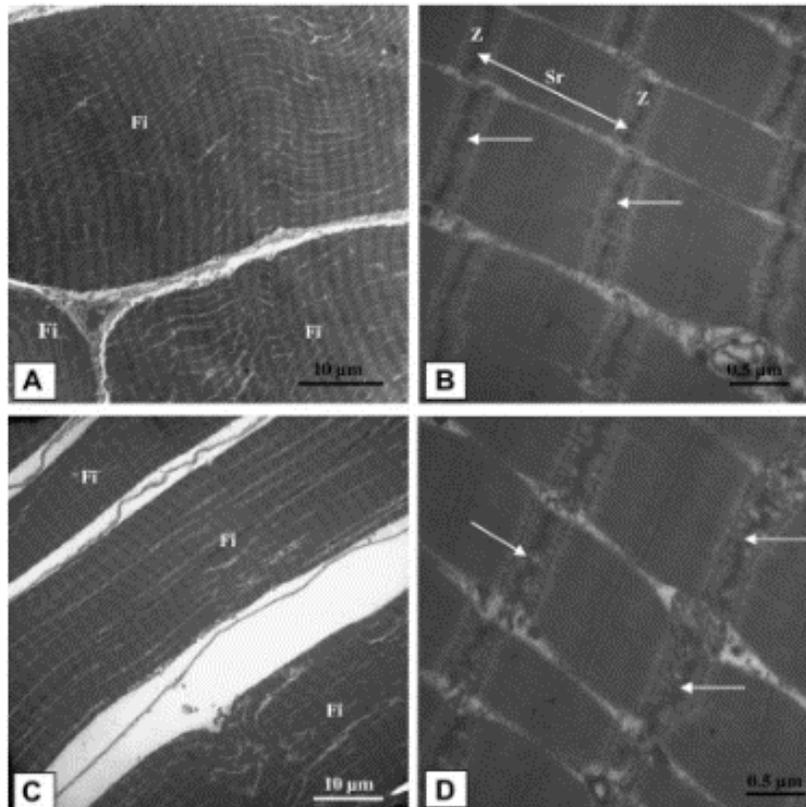
Se ha observado que puede expandirse al menos el doble de su tamaño original en concentraciones de sal que son comúnmente utilizadas en la industria cárnica. Es razonable suponer que el agua es ligada por capilaridad, la mayoría en el espacio existente entre los filamentos, pero una parte sustancial en el espacio extra celular y en los espacios entre las miofibrillas. Este fenómeno puede ser visto en términos de química coloidal, viendo las proteínas miofibrilares como un gel donde se supone que la hinchazón ocurre inicialmente por ampliación y eventualmente por solubilización de la red de gel.

Al aumentar la concentración de sal, al mismo tiempo se debilitan los enlaces entre las proteínas y aumentan las cargas negativas en los filamentos, derivando en un incremento en las fuerzas electrostáticas de repulsión dando pie a un incremento de la solubilidad y por ende mayor longitud del sarcómero. Por otra parte, se demostró que la presencia de magnesio no afecta la interacción del cloruro de sodio y de los fosfatos con las proteínas de la carne.

A un pH de 5.5 en la carne hay una pérdida parcial de miosina, principalmente de la zona H de la banda A y se presenta una hinchazón si se alcanza una concentración mayor o igual a 0.6 M de cloruro de sodio (Astruc, *et al*, 2008). La sal actúa en conjunto con los fosfatos y al haber una concentración mínima de cloruro de sodio 1.0 M, las bandas A son extraídas y simultáneamente hay una expansión.

Cuando la concentración es menor a 1.0 M no hay más cambios en los patrones de las bandas, mientras que en ausencia de fosfatos hay una contracción transversal, acompañada de un aumento del contraste óptico que hace más visible el material que conecta a los segmentos I adyacentes.

En presencia de pirofosfato, las miofibrillas pierden todo el material de la banda A y las fibrillas del segmento I permanecen suspendidas en solución en la red. Cuando las miofibrillas son expuestas a altas concentraciones de sal, hay una solubilización del segmento Z debilitando parcialmente la estructura del sarcómero (Figura 22) (Astruc, *et al*, 2008).



**Figura 22.** Efecto del cloruro de sodio en la estructura de las miofibrillas. Imágenes de carne troceada en presencia de cloruro de sodio. Fibras musculares (A, C) y morfología del sarcómero (B, D). *Fi*, fibra; *Z*, Línea Z; *Sr*, sarcómero. (Astruc, *et al*, 2008).

No obstante, al tratar con concentraciones mayores como 4.0 M se pierde menos proteína. Esto se debe a que ocurre la desnaturalización de la miosina dando pie a la formación de pequeños e irreversibles agregados con la banda A. También es posible que haya reacciones de oxidación, tentativamente catalizadas por metales pesados presentes en la sal pudiendo formar enlaces entrecruzados entre moléculas dificultando la extracción.

En la carne post rigor, miosina y actina se entrecruzan en forma de actomiosina que es el complejo funcional predominante. Se han propuesto varios sitios específicos de la miosina que interaccionan con la actina (Thomas y Roopnarine, 2006):

1. Residuos 626-647 del esqueleto de miosina, interactúan con los residuos terminales de la actina durante la contracción muscular.
2. Enlace hélice-hélice en los residuos Gly516-His558 del bajo dominio de miosina interactúan con la actina a través de interacciones tanto iónicas como hidrofóbicas.
3. Los residuos Arg 405-Lys 415 de la miosina forman un enlace flexible que se liga fuertemente a la actina y es importante para la actividad ATPasa de la miosina.
4. Los residuos terminales 567 y 568 de miosina han sido propuestos de estar involucrados en interacciones hidrofóbicas con los residuos 99/100 de actina.

La debilitación de la interacción actina-miosina y consecuente extracción de la banda A depende también de la unión del pirofosfato al sitio activo de la miosina. Mientras que la alta concentración de sodio y valores cercanos al punto isoeléctrico de la miosina incrementan su desnaturalización (Goli, *et al*, 2014). La desnaturalización de los filamentos gruesos por la sal puede causar una expansión, sin embargo, se ve limitada por el impedimento estérico generado por los delgados filamentos de las colas de miosina unidas a los delgados filamentos.

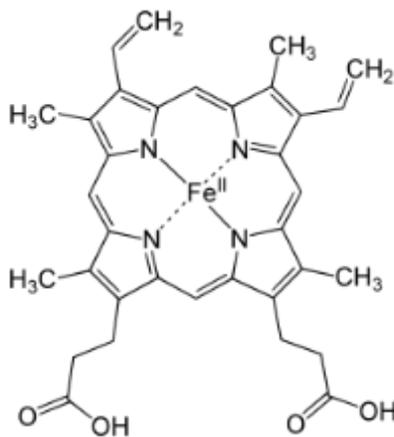
Una reacción que podría explicar la reducción de la expansión de miofibrillas en altas concentraciones de sal, puede ser el efecto desestabilizador del cloruro de sodio con la cola de la alfa hélice de la molécula de miosina, esto podría permitir que se pliegue la cola en una estructura más pequeña reduciendo el grado de hinchazón (Astruc, *et al*, 2008).

La pérdida progresiva de material miofibrilar, especialmente miosina, reduce la fuerza de hinchazón. Por lo tanto, la capacidad de expansión permanece relativamente baja en aumentos en la concentración de sal.

Por otro lado, las pérdidas durante el cocimiento se asocian al encogimiento de las proteínas disminuyendo su capacidad de retención. Esto ocurre por la desnaturalización de miosina que ocurre rápidamente bajo condiciones de pH 5.5 y a temperaturas mayores a 40 °C (Goli, *et al*, 2014).

#### 4.2 Efecto de los nitratos y nitritos en las proteínas de la carne.

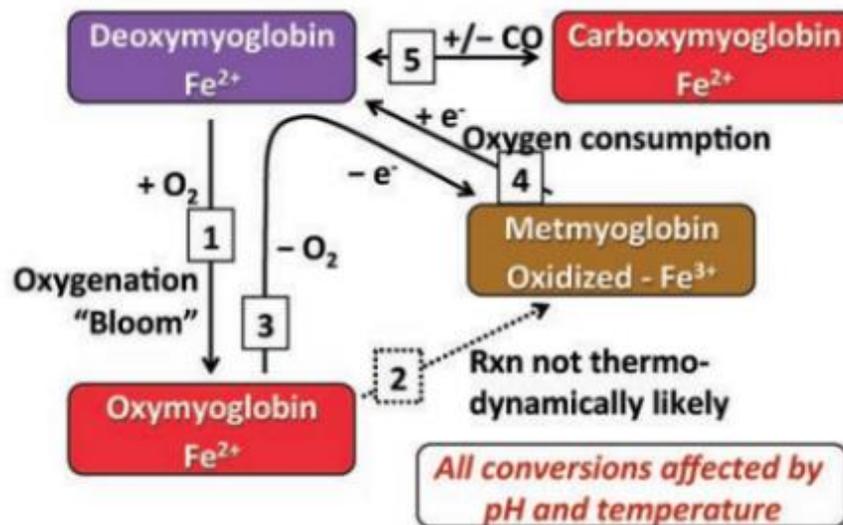
La mioglobina es una proteína intracelular del músculo de los vertebrados. Su estructura por rayos X, reveló que la mayoría de los 153 residuos de la mioglobina se disponen en ocho alfa hélices que forman una proteína globular. Pertenece al grupo de proteínas globulares que solo contienen un grupo hemo. Este grupo hemo está localizado en un sitio hidrófobo. El tipo de anillo heterocíclico del hemo es un derivado de la porfirina que contiene cuatro grupos pirroles unidos por puentes metenos mostrando un átomo central de hierro (Figura 23) (Voet, *et al*, 2007).



**Figura 23.** Estructura del anillo heterocíclico de mioglobina.

El átomo de hierro tiene seis ligandos, cuatro de los seis están ligados a átomos de nitrógeno, el quinto está ligado a un residuo terminal de histidina. Por otro lado, moléculas de oxígeno, agua u óxido nítrico pueden enlazarse al sexto ligando y el estado de oxidación del sexto ligando puede jugar un rol vital en el color de la carne fresca mediante las cuatro formas químicas de la mioglobina: deoximioglobina (**DMb**), oximioglobina (**OMb**), carboximioglobina (**CMb**) y metamioglobina (**MMb**) (Feiner, 2016).

El color final de la carne fresca varía con la presencia de las tres formas de mioglobina. La DMb genera un color rojo-púrpura oscuro, estructuralmente; el hierro se encuentra como  $Fe^{2+}$  y no tiene un ligando en la sexta posición. Al haber presencia de oxígeno se forma inmediatamente Omb, que paralelamente interactúa con la histidina de la posición 64, lo que produce una estructura más compacta en comparación con la de DMb (Hunt y King, 2012) (Figura 24).

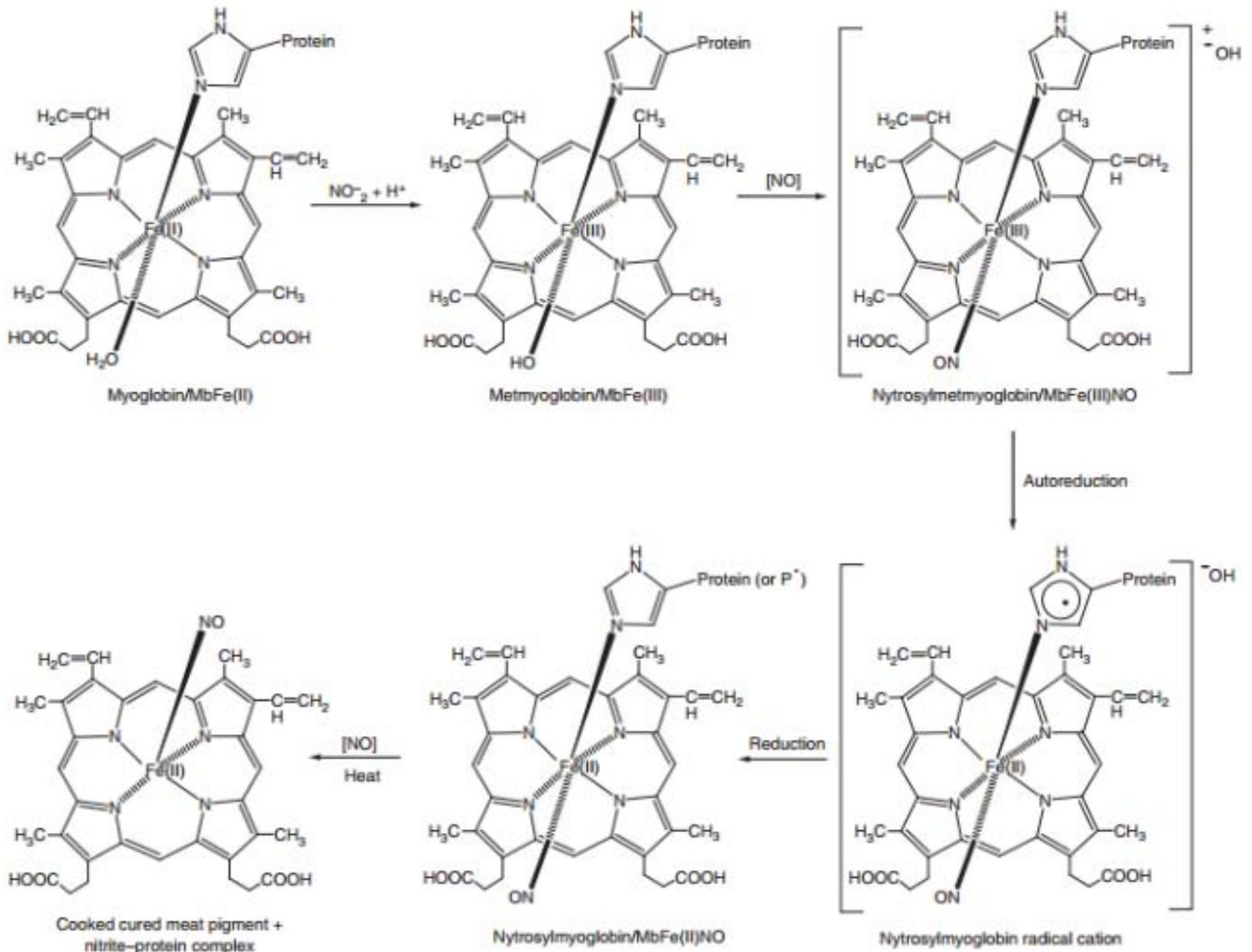


**Figura 24.** Diversos estados de oxidación de la mioglobina. 1) Oxigenación de la **DMb**. 2) Oxidación directa de **OMb** a **MMb** no viable termodinámicamente. 3) Oxidación de **OMb** a **MMb** con la pérdida de un electrón y una molécula de oxígeno formando **DMb** como compuesto intermediario. 4) Reducción de **MMb** a **DMb** al ganar un electrón. 5) Equilibrio de **DMb** con **CMb** al ganar o perder una molécula de monóxido de carbono (Hunt y King, 2012).

En ausencia de oxígeno, la sexta posición puede reaccionar con monóxido de carbono produciendo un rojo brillante. Por último, la MMb es la responsable de notas marrón el hierro está en su forma férrica ( $Fe^{3+}$ ). Comúnmente se genera en bajas concentraciones de oxígeno diatómico y una molécula de agua está ligada a sexta posición (Hunt y King, 2012).

La mioglobina es considerada la proteína con mayor responsabilidad en la formación de color (De Maere, *et al*, 2016) debido a sus características estructurales.

Por otro lado, la formación de color en los productos cárnicos se sabe que es en gran parte acción del óxido nítrico, que forma un complejo estable con la mioglobina. Para hacer esto posible es necesario que haya diversas reacciones intermedias de curación (Figura 25).



**Figura 25.** Propuesta de mecanismo para el proceso del curado de la carne (Killday, *et al*, 2008).

Al menos siete intermediarios han sido propuestos para las reacciones subsecuentes, en la cual se intuye que es un grupo nitrosilo el agente nitrosilante de la mioglobina mediante una reducción.

Skibsted en 2011, reportó que el óxido nítrico no puede reducir la metamioglobina ni el intermediario nitrosilmetamioglobina, esto coincide con lo deducido con el mecanismo propuesto por Killday en el 2008, en el cual se sugiere que es el el nitroxilo el que reacciona con la mioglobina.

El nitrito puede oxidar la mioglobina para formar metamioglobina y esta reacción es responsable de los cambios iniciales de color a partir del rojo fresco a un color más oscuro, producido por la forma reducida de la mioglobina [MbFe(III)] la cual subsecuentemente sufre otra reducción por reductores como NADH o sales reductoras añadidas. La reducción de la metamioglobina causa una segunda transformación de color para impartir el característico color rosado de la carne curada, donde el óxido nítrico está fuertemente enlazado a la mioglobina (Skibsted, 2011).

La interacción con el grupo hemo de la mioglobina es de las principales reacciones de los nitritos. No obstante, es capaz de llevar a cabo las siguientes reacciones (Subramanian, *et al*, 2014):

1. Reacciones con residuos terminales amino e imino.
2. Reacciones con enlaces peptídicos: este tipo de reacciones forman compuestos inestables, además, hay que considerar que a partir de estas reacciones hay formación de enlaces de N-nitrosoprolina y N-nitrosohidroxiprolina.
3. Reacciones con residuos de cadenas laterales: este tipo de reacciones puede generar nitrosilación de átomos de carbono, nitrógeno y azufre, pertenecientes a distintos aminoácidos.

#### **4.3 Efecto de los fosfatos en las proteínas de la carne.**

El sarcómero es la unidad funcional de la miofibrilla. Está formado por filamentos y gruesos con una disposición regular. Los filamentos finos están compuestos por actina, tropomiosina y troponina, mientras que los filamentos gruesos están formados por miosina (Welsch y Sobotta, 2008). Al segmento entre dos líneas Z se llama sarcómero.

Los filamentos de miosina entran en contacto con los filamentos de actina mediante las llamadas cabezas de miosina, mientras que filamentos de titina cuya función es estabilizar la posición de los filamentos contráctiles y regresar los músculos estirados a su longitud de reposo, unen los filamentos de miosina con las líneas Z (Silverthorn, 2008) (Figura 7).

En la banda A los filamentos de miosina están rodeados por seis filamentos de actina de modo que un filamento de actina interactúa con dos filamentos contiguos de actina y en la cadena terminal interactúa con un filamento de titina. En acción conjunta con el cloruro de sodio, los polifosfatos disocian el complejo actomiosina y la acción del ATP promueve la extracción de la miosina. Esto permite una expansión de los filamentos, por lo tanto, aumenta la superficie de contacto favoreciendo la capacidad de retención de agua.

Se sabe que el aumento del pH de la carne cambia el punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, creando espacios más grandes entre los miofilamentos de actina debido a las fuerzas electrostáticas de repulsión, que finalmente dan lugar a un aumento en la cantidad de agua retenida por la carne (Roldán, *et al*, 2014). Mientras que el aumento de la fuerza iónica como consecuencia de la adición de fosfato también puede mejorar la solubilidad del complejo actomiosina, lo que lleva a una mayor hinchazón de los filamentos (Ergezer y Gökçe, 2011).

Además, los fosfatos promueven la despolimerización de filamentos de miosina y debilitan la unión de las cabezas de miosina a la actina que permite la disociación de actomiosina para permitir una mayor expansión en la red de filamentos, permitiendo a los fosfatos un mayor acceso y una mayor retención de agua (Roldán, *et al*, 2014).

## Capítulo 5. Efectos de las sales utilizadas en el desarrollo de productos cárnicos sobre la salud del consumidor.

La correcta medición e identificación de riesgos químicos presentes es importante porque la ausencia o presencia de sales en productos cárnicos puede tener efectos adversos en el consumidor. La industria cárnica está obligada a utilizar las dosis correctas porque a de ello depende el desarrollo o ausencia de distintas enfermedades que con el paso del tiempo han colocado a los productos cárnicos como uno de los principales promotores de enfermedades degenerativas en el consumidor.

En el Cuadro 10 se muestran los principales problemas causados por el exceso o la ausencia de distintas sales.

**Cuadro 10.** Principales problemas causados por el exceso o ausencia de distintas sales  
(Modificado de: Toldrá, 2010).

| <b>Problema</b>                  | <b>Fuentes de exposición</b> | <b>Condiciones que afectan</b>  |
|----------------------------------|------------------------------|---|
| <b>Formación de nitrosaminas</b> | Carnes curadas               | Cantidad disponible de nitrito residual en carnes curadas, presencia de aminas secundarias y tratamientos térmicos.   |
| <b>Crecimiento de patógenos</b>  |                              | Ausencia o poca cantidad de cloruro de sodio y nitratos y nitritos.   |
| <b>Alto consumo de sodio</b>     |                              | Uso de sales de sodio en las distintas formulaciones.   |
| <b>Reacciones de oxidación</b>   | Carnes cocidas y procesadas  | Reacciones químicas durante el proceso y almacenaje favorecido por la presencia de oxígeno, peróxido de hidrogeno, lipooxigenasas, concentración de sal, tiempo y temperatura de almacenaje, presencia de antioxidantes/pro oxidantes, exposición a la luz y tratamiento térmico. |

Además de estos problemas, hay otro tipo de riesgos químicos latentes como la formación de aminas heterocíclicas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y aminas biogénicas. Sin embargo, su formación está asociada con el deterioro y un manejo inadecuado durante el proceso, almacenaje y con procesos que conllevan un tratamiento térmico. No obstante, al ser precursores de compuestos nocivos deben ser considerados.

### 5.1 Formación de N-nitrosaminas.

El punto esencial en el uso de nitratos y nitritos como conservador consiste en encontrar un balance entre el aseguramiento de la seguridad microbiológica y de mantener el nivel de nitrosaminas lo más bajo que sea posible (Toldrá, 2009). Las N-nitrosaminas son compuestos que se forman en productos cárnicos mediante la reacción de un agente nitrosilante y una sustancia que tenga un grupo amino y su formación puede ser a partir de una reacción química o biológica (Drabik-Mandiewicz, *et al*, 2011).

**Cuadro 11.** Clasificación de nitrosaminas (Herrmann, *et al*, 2015).

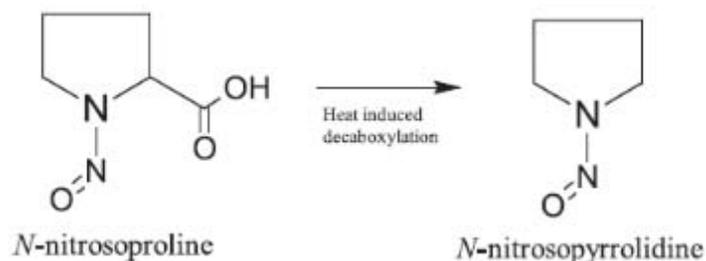
| N-nitrosaminas volátiles (VNA)         | N-nitrosaminas no volátiles (NVNA)        |
|--|---|
| N-nitrosodimetilamina<br><b>(NDMA)</b> | N-nitrosohidroxiprolina<br><b>(NHPRO)</b> |
| N-nitrosopirrolidina<br><b>(NPYR)</b>  | N-nitrosoprolina<br><b>(NPRO)</b>         |
| N-nitrosopiperidina<br><b>(NPIP)</b>   | N-nitrososarcosina<br><b>(NSAR)</b>       |
| N-nitrosodietilamina<br><b>(NDEA)</b>  |   |

Se pueden clasificar como volátiles (VNA por sus siglas en inglés) y no volátiles (NVNA por sus siglas en inglés) mencionando las más comunes en el Cuadro 11. Son compuestos relativamente estables que deben ser activadas mediante una hidroxilación catalizada por enzimas del citocromo volviéndose carcinogénicas. Los órganos objetivos son el hígado, tracto respiratorio y digestivo al poseer la enzima que puede activar las nitrosaminas (Herrmann, *et al*, 2015).

De acuerdo con la clasificación anterior se puede mencionar que las nitrosaminas volátiles normalmente se encuentran a una baja concentración, pero tienen una actividad carcinogénica mayor siendo la **NDEA** el más potente agente carcinogénico. Por otro lado, las nitrosaminas no volátiles se encuentran en una concentración mayor sin embargo su actividad carcinogénica es menor y en algunos casos no ha sido determinada (Herrmann, *et al*, 2015).

Además la concentración de las mismas tiende a variar, algunas reacciones como la descarboxilación disminuyen la concentración de nitrosaminas no volátiles, aumentando la concentración de nitrosaminas volátiles (Herrmann, *et al*, 2015).

Se analizaron diversas muestras para determinar el efecto del tratamiento térmico y se encontró que puede acelerar las reacciones de nitrosilación para formar óxido nítrico o nitrosaminas. Paralelamente se midió la concentración de diferentes nitrosaminas encontrando que la concentración de todas las nitrosaminas disminuye pero la concentración de **NPIP** e **NPYR** aumentan. Esto último se puede explicar a que la **NPRO** sufre una reacción de descarboxilación y se forma **NPYR** (Figura 26).



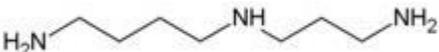
**Figura 26.** Estructura de N-nitrosoprolina y su parte descarboxilada N-nitrosopirrolidina (Herrmann, *et al*, 2015).

Como se mencionó anteriormente se requiere un agente nitrosilante para su formación, siendo la fuente principal los nitritos y nitratos añadidos como conservadores. Al disminuir el pH del medio a valores cercanos al pKa del ácido nitroso (pKa=3.6), su concentración es mayor y la reacción de formación es mayor, por lo tanto a valores de pH mayores la velocidad de formación disminuye (Reig y Toldrá, 2010).

No obstante, hay que considerar que hay otras vías de formación de nitrosaminas, una de ellas puede ser a partir de la interacción de los nitratos y nitritos con aminas biogénicas. Las aminas biogénicas son una clase diversa de aminas que pueden ser alifáticas, aromáticas o heterocíclicas. Incluso, algunos microorganismos presentes de la carne pueden descarboxilar aminoácidos libres a aminas biogénicas. La descarboxilación puede ocurrir por dos mecanismos bioquímicos. Ya sea por enzimas endógenas con actividad descarboxilasa del tejido o debido a la acción de enzimas exógenas de microorganismos presentes en el medio de almacenaje y procesamiento (Drabik-Mandiewicz, *et al*, 2011).

Las principales aminas biogénicas presentes en la carne se presentan en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Principales aminas biogénicas (Drabik-Mandiewicz, *et al*, 2011).

| Compuesto   | Estructura molecular   |
|-------------|--|
| Putrescina  |  |
| Cadaverina  |  |
| Espermina   |  |
| Espermidina |  |

El contenido de putrescina y cadaverina en carne puede incrementar debido a la acción bacteriana que resulta de un mal proceso y almacenaje. Situación contraria ocurre con la espermidina y la espermina que disminuyen con el tiempo. Se ha propuesto que sufren una dehidratación y ciclización antes de reaccionar con el óxido nítrico. De esta manera es factible la formación de NPYR a partir de putrescina, espermidina y espermina. Por otra parte, la cadaverina puede formar NPIP (De Mey, *et al*, 2014).

Hay que considerar que las aminas biogénicas si bien son precursores, no hay una relación directa, es decir, a pesar de ser factible la reacción, no es el principal mecanismo de formación.

Además, las nitrosaminas también se pueden formar por diversas especias utilizadas en la elaboración de productos cárnicos como pimienta y paprika, otros aditivos (fosfatos, antioxidantes y azúcar), cultivos iniciadores y condiciones de almacenaje (De Mey, *et al*, 2014).

Diversos estudios asocian el consumo de carne con obesidad, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer por químicos presentes en la carne. En 2007 se llegó a la conclusión de que al consumir 50 g de carne procesada hay un aumento del 18% mientras que por cada 100 g de carne roja hay un aumento del 17% en la probabilidad de desarrollar algún tipo de cáncer (WCRF, 2011).

El principal tipo de cáncer que ha sido estudiado en relación al consumo de carne es el cáncer colorectal, pero también se ha asociado el consumo de carne con el desarrollo de cáncer de esófago, gástrico, hígado, riñón, vejiga y en menor cantidad páncreas, próstata y riñón.

El cáncer colorrectal (CRC) es el tercer tipo de cáncer más común, seguido del de pecho y pulmón y la cuarta causa más común de muerte después de pulmón, estómago e hígado. Los hombres tienen una tendencia mayor a desarrollar CRC en comparación a las mujeres y esto se debe a la predisposición a acumular grasa en la zona abdominal.

Además de esto, los altos niveles de insulina y péptido-C incrementan el riesgo de un adenoma colorectal, sugiriendo que la resistencia a la insulina y la hiperinsulinemia pueda contribuir parcialmente asociación entre CRC y obesidad (Boada, 2016).

El consumo de carne propicia la exposición a nitrosaminas que no se pueden absorber en el intestino delgado por lo tanto pasa al lumen del intestino grueso, teniendo efectos perjudiciales en las células epiteliales. Para la carne procesada el alto contenido de nitratos propicia que reaccionen con amidas, aminos y otros precursores en el tracto gastrointestinal formando compuestos nitrosilados (Boada, 2016). Por otra parte el contenido de nitratos en productos cárnicos debe ser monitoreado mediante el método descrito en la NMX-F-543-1992

Además, se ha propuesto la actividad oncológica del grupo hemo pudiendo iniciar la carcinogénesis a través de procesos de peroxidación de lípidos. La relación es débil, actualmente si bien se ha encontrado una asociación se requieren estudios que refuercen lo encontrado (Larsson, *et al*, 2012).

## **5.2 Alto consumo de sodio.**

La sal es uno de los ingredientes más viejos y mejor conocidos por el hombre. Es importante para desarrollar características de calidad e inocuidad, de las que destacan las siguientes: características de proceso, conservación y sensoriales (McCough, *et al*, 2012).

El impacto de la sal en la salud cerebrovascular puede ser análogo al impacto del colesterol LDL en enfermedades coronarias (McCarty, 2004). De acuerdo con la OMS, el consumo recomendado debe ser de 2 g/día (OMS, 2007), no obstante, en algunas culturas este consumo al menos se duplica. La ingesta mínima para satisfacer los requerimientos metabólicos debe ser de 1.5 g/día y en personas con problemas cardiacos deben consumir menos de 1 g/día (Lilic, *et al*, 2015).

Sin embargo, el consumo excesivo se ha vuelto un problema de salud pública, porque está directamente relacionado con enfermedades cardiovasculares, principalmente el aumento en la presión sanguínea.

La hipertensión afecta a 3 de cada 10 adultos mexicanos de las distintas regiones, localidades y niveles socioeconómicos. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud la prevalencia actual de hipertensión en México es de 31.5% (2012). Desafortunadamente del 100% de adultos hipertensos 47.3% desconocía que padece la enfermedad.

Durante la hipertensión la presión sanguínea es constantemente alta. La presión sanguínea es necesaria para la circulación, proveer oxígeno a los músculos y remover dióxido de carbono. La sangre fluye a través de arterias que ramifican del corazón a pequeñas arteriolas, las cuales actúan como reguladoras del flujo sanguíneo; cuando se abren la sangre fluye libremente y cuando se contraen el corazón debe bombear con mayor fuerza, pudiendo dañar arterias. Además, cuando la presión sanguínea incrementa el riñón secreta sal y agua para eliminarlos en la orina y reducir la presión sanguínea (Ahhmed, 2010).

Si el contenido en sal es muy alto el riñón lo elimina en la orina. Cuando los niveles de sodio son muy altos por un consumo excesivo, los riñones no funcionan bien ocasionando presencia de sal en el torrente sanguíneo.

La sal tiende a interaccionar con moléculas de agua, por lo tanto, altas concentraciones de sal conllevan a una presencia de agua en el torrente incrementando el volumen sanguíneo generando un aumento de la presión (Ahhmed, 2010).

Además de hipertensión, el consumo excesivo de sodio puede tener otros impactos negativos sobre la salud como un aumento en la concentración de sodio en fluidos extra celulares, excreción urinaria de albumina y calcio aumentando el riesgo de enfermedades de hígado, corazón y cálculos renales, infecciones causadas por *Helicobacter pylori* y una reducción de la densidad ósea acentuando enfermedades como osteoporosis principalmente en mujeres (Lilic, *et al*, 2015).

Del consumo total de sal consumida en alimentos, cerca del 20% proviene de productos cárnicos (Brankovic, *et al*, 2015). La carne naturalmente contiene sodio, pero la cantidad es menor a 100 ppm (Ruusunen, *et al*, 2005). La fuente principal en productos cárnicos es el cloruro de sodio el cual es añadido durante el proceso en forma de las distintas sales estudiadas en los capítulos anteriores.

Se han planteado diversas alternativas para reducir el consumo de sal entre ellas reemplazar parcialmente por sales de potasio y algunas especias como cebolla. La principal complicación es tecnológica, pues si bien a ciertos niveles no hay una diferencia sensorial perceptible, en altas concentraciones las sales de potasio pueden generar ciertas notas amargas. Lo recomendable es agregar sales de sodio y potasio máximo en una proporción 1:1. Es importante considerar que si no se adiciona sal, pueden crecer microorganismos patógenos que afecten la salud e incluso ocasionar la muerte en el consumidor.

### **5.3 Reacciones de oxidación.**

El oxígeno es una molécula muy reactiva capaz de reaccionar con muchos compuestos. Debido a esta reactividad es esencial para la vida porque las reacciones con oxígeno aportan a los tejidos energía química (Honikel, 2009). Los cambios oxidativos no son negativos *per se*. Pueden contribuir a desarrollar características sensoriales de la carne y productos cárnicos; ácidos grasos insaturados pueden generar un número deseable de compuestos como aldehídos, cetonas, ácidos y alcoholes que en pequeñas concentraciones dan sabor (Honikel, 2009).

El alto grado de susceptibilidad de la grasa animal a las reacciones de oxidación se debe a distintos factores: La concentración de ácidos grasos poliinsaturados que son constituyentes de membrana, ausencia de antioxidantes endógenos como tocoferoles, la presencia de pro oxidantes como hierro, cobre y zinc de enzimas y metaloproteínas, altas concentraciones de sal y la abundancia de oxígeno molecular que es incorporado durante el proceso. (Jiang, *et al*, 2016).

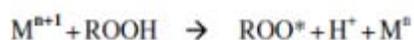
El oxígeno en condiciones normales se encuentra en estado electrónico triplete. Este estado de menor energía en el que los dos electrones con la más alta energía tienen espines paralelos y puede haber una transición por la presencia de un sensibilizador (Honikel, 2009). Al haber una transición y formarse el oxígeno singulete comienzan las reacciones de oxidación, formándose un radical lipídico que posteriormente forma peróxidos e hidroperóxidos. Después, los peróxidos forman una serie de reacciones en cadena.

En las reacciones de terminación se forman varios de productos de segunda generación, notablemente especies reactivas como malonaldehído y 4-hidroxinonenal. Muchos de los productos terminales son responsables de la rancidez oxidativa y pueden participar en la formación de compuestos peligrosos para la salud mediante la reacción con otros componentes cárnicos. Estos incluyen componentes genotóxicos y citotóxicos como aminas heterocíclicas y nitrosaminas carcinogénicas.

Además, se ha encontrado evidencia de que los mismos oxidantes que inician la oxidación de lípidos, causan y propagan la oxidación. La formación de radicales proteínicos es esencialmente similar a la oxidación de lípidos donde los radicales libres son producidos por un electrón no apareado, removiendo un protón del metileno adyacente a la doble ligadura. Siendo los aminoácidos con cadenas laterales reactivas más susceptibles a la oxidación como cisteína, metionina, lisina, arginina, histidina, triptófano, valina, serina y prolina (Jiang, *et al*, 2016).

Las consecuencias de la oxidación de proteínas incluyen un incremento en la susceptibilidad a enzimas proteolíticas, polimerización de proteínas que producen agregados que promueven la gelificación o agregados insolubles que impiden la capacidad de retención de agua y afectan la textura. Por lo tanto, debido a las modificaciones químicas de las cadenas laterales de los grupos amino y la agregación o entrecruzamiento de las proteínas, la oxidación puede cambiar la digestibilidad de las proteínas disminuyendo su calidad nutricional (Jiang, *et al*, 2016).

La carne contiene metales de transición como hierro, cobalto, cobre, manganeso y cromo. Todos estos iones poseen diferentes estados de oxidación que pueden cambiar con mayor o menor dificultad y esta versatilidad les permiten catalizar reacciones de oxidación. El primer paso consiste en la formación de un radical alcoxilo, posteriormente un peroxilo y al final el metal sufre una reducción regresando a su estado original, para catalizar otra reacción en caso de ser necesario (Honikel, 2009) (Figura 27).



**Figura 27.** Reacciones de auto oxidación inducidas por iones metálicos (Honikel, 2009).

La presencia de sal es otro factor importante a considerar en las reacciones de oxidación. En bajas concentraciones puede ser antioxidante, pero en altas concentraciones puede favorecer la oxidación,

La sal al disminuir la actividad acuosa disminuye la solubilidad del oxígeno por tanto la actividad de las enzimas y bacterias, por ejemplo, la actividad de catalasa, glutatión peroxidasa, y superoxido dismutasa pudiendo ser una de las razones por que alimentos salados tengan una pobre estabilidad oxidativa (Jiang, *et al*, 2016). Además, se propone que la sal puede activar algún un componente en el tejido miofibrilar que resulta en un cambio en las características del tejido adiposo (Honikel, 2009).

Es aquí donde figuran los antioxidantes, pues si bien no tienen un efecto directo sobre la proteína disminuyen este tipo de reacciones. En el cuerpo humano el sistema antioxidante de defensa incluye enzimas, proteínas extracelulares quelantes de hierro y cobre, vitaminas antioxidantes y otros compuestos celulares.

Además, juegan un papel muy importante los compuestos fenólicos derivados de frutas, verduras y legumbres consumidos en la dieta que en comparación a antioxidantes sintéticos no son tóxicos.

Los compuestos fenólicos presentes en especias como ácidos fenólicos, dipertenos, flavonoides, aceites y carotenoides tienen la capacidad de frenar reacciones de radicales libres por la donación de un protón o un electrón. Además, pueden quelar el hierro aumentando la capacidad antioxidante de la célula.

**Cuadro 13.** Principales antioxidantes naturales (Jiang, *et al*, 2016).

| <b>Categoría de antioxidante</b> | <b>Principal compuesto activo</b>     | <b>Ejemplo</b>  |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|
| Especias, plantas y extractos.   | Ácidos fenólicos y terpenoides        | Ácido gálico, ácido carnosico, ácido cafeico, ácido rosmarínico.                    |
| Frutas y extractos               | Flavonoides y vitaminas hidrosolubles | Procianidinas, quercetina, catequina  |
| Nueces, semillas y extractos     | Tocoferoles, tocotrienoles            | $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -, y $\delta$ tocoferoles                           |
| Aceites esenciales               | Polifenoles y terpenoides             | Eugenol   |
| Péptidos                         | Biopéptidos activos                   | Carnosina, Tirosina-Fenilalanina-Ácido glutámico, Tirosina-Serina-Treonina-Alanina. |

Como se menciona en el Cuadro 13 las vitaminas son otra buena alternativa de antioxidantes principalmente las vitaminas A, C y E. El principal antioxidante utilizado es la vitamina E liposoluble, añadida normalmente como acetato de tocoferol, e incluye los tocoferoles y tocotrienoles, los diferentes grupos se especifican como  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, y  $\delta$  de acuerdo al número y posición de grupos metilo. Se ha encontrado que  $\alpha$ -tocoferol en concentraciones de 500 ppm mantiene el color rojo de la carne, retarda la oxidación de oximioglobina e inhibe la oxidación de ácidos grasos (Jiang, 2016).

La Vitamina C es capaz de ceder un protón, frenar reacciones de oxidación, protegiendo indirectamente los lípidos de membrana y bloquear la formación de compuestos citotóxicos. La formación de estos compuestos ocurre durante el tratamiento térmico e involucra radicales de alquilpiridina y creatina. Sin embargo, se encontró que la vitamina E disminuye la presencia de aminas heterocíclicas y la formación de algunas nitrosaminas.

## **Discusión**

Se revisó la situación actual de la industria cárnica y se encontró que México es de los principales productores y consumidores de carne a nivel mundial, esta actividad es un pilar del sector agropecuario, que genera un gran número de empleos.

A pesar de que en los últimos años se ha divulgado que el consumo de carne es nocivo y que puede repercutir sobre la salud del consumidor, esto no ha tenido un impacto en la tendencia de consumo nacional. Esto se comprueba en el comportamiento del crecimiento de la industria cárnica en los últimos cinco años., principalmente en la producción y consumo de productos procesados. Cabe resaltar que la mayor demanda de los productos cárnicos son los elaborados con carne de ave, debido a que tienen un menor costo de producción, se reduce el consumo de carnes rojas.

La sociedad mexicana tiene un fuerte arraigo cultural al consumo de productos cárnicos. Desde temprana edad se fomenta su consumo al ser un constituyente del desayuno de buena parte de la niñez mexicana debido a la practicidad de consumirlo.

El 60% de la sociedad mexicana pertenece a la clase baja y un 20% pertenece a la clase media baja de acuerdo con la Procuraduría Federal del Consumidor, lo que justifica las distintas presentaciones existentes de productos cárnicos en el mercado que tratan de adaptarse a diferentes necesidades y presupuestos, lo que se refleja en una variedad en la calidad; desde productos cárnicos gourmet hasta productos económicos para vendedores de alimentos que buscan obtener un margen de ganancia, pero también ofrecer un buen alimento.

De acuerdo con la tendencia observada durante los últimos años, se espera que en los próximos 5 años el consumo de productos cárnicos tenga un aumento gradual aunado a las tendencias actuales en las cuales se fortalezcan con vitaminas, antioxidantes, contengan biopeptidos y se reduzca la concentración de sodio con ciertas reservas pues es una sal que asegura la inocuidad microbiológica y propiedades sensoriales características.

Durante el desarrollo de la presente investigación se revisaron los niveles de producción de los siguientes productos cárnicos: salchicha, jamón, chorizos, tocino y mortadela. En el proceso de elaboración, se utilizan distintas sales con distintos fines tecnológicos y de inocuidad.

Si se considera que el volumen total de productos cárnicos producidos en 2015 se hizo cumpliendo las especificaciones de la normatividad correspondiente esto implicaría haber adicionado 4036.5 toneladas de sal cura y 5175 toneladas de fosfatos. No obstante, hay que considerar que dichas cifras son un estimado y que la cantidad de sal añadida podría ser mayor; además que deben considerarse las demás sales incluidas en las formulaciones. Por esta razón el consumo desmedido puede tener efectos adversos a la salud por lo cual es importante analizarlos.

Se encontró que las siguientes normas regulan los productos cárnicos más producidos en México:

- NOM-122-SSA1-1994.
- NOM-145-SSA1-1995.
- NOM-158-SCFI-2003.
- NOM-213-SSA1-2002.
- NMX-F-065-1984.
- NMX-F-126-1969
- NMX-F-202-1971

Sin embargo, no todas son de carácter obligatorio. El jamón es el único producto cárnico que tiene una norma obligatoria propia, pero valdría la pena que existiera una de salchicha ya que es el producto cárnico más consumido en el país.

Asimismo, no hay alguna norma que regule los productos cárnicos gourmet, por otra parte los productos cárnicos importados deberán cumplir con las especificaciones de las normas nacionales. También sería pertinente que, si no son de carácter obligatorio, por lo menos sean actualizadas en beneficio del consumidor, ya que algunas tienen hasta 47 años de haber sido publicadas. La ciencia y tecnología necesarias para elaborar cada producto no quedan completamente plasmadas en las normas, al ser muy cortas y sus especificaciones muy ambiguas por lo que se pueden prestar a errores de interpretación por parte del productor y generar distintas irregularidades en el producto.

Se sugiere la inclusión de un proceso general de elaboración en las normas y actualizar las metodologías para determinar especificaciones físicas y químicas, lo que abriría la posibilidad a nuevos métodos de análisis más rápidos.

El nitrito de sodio es esencial en el desarrollo de los productos cárnicos, sin estas sales no hay formación de un complejo termoestable que genere el color curado característico, tampoco hay un efecto anti botulínico y mucho menos un efecto benéfico del óxido nítrico. Reemplazar el uso de nitritos por algún otro aditivo al tiempo de conservar las características sensoriales es muy difícil. No obstante, dentro de las nuevas tendencias en la producción de productos cárnicos se ha propuesto usar extractos vegetales de apio y espinaca como fuente de nitritos lo que reduce el uso de sal de cura. Sin embargo, dichas propuestas no cumplen de igual manera y se tienen que adicionar antioxidantes, conservadores, incluso algún colorante.

Independientemente del alto consumo de nitritos en productos cárnicos, se deben considerar otros factores como:

- Concentración de nitritos en alimentos, no solo en productos cárnicos.
- Cantidad de productos cárnicos consumidos en la dieta.

- Peso corporal promedio del consumidor; de acuerdo con el peso varia la ingesta admisible.

Además, se debe considerar que la sal de curado se ha utilizado durante siglos por lo que es algo con lo que los productores ya están familiarizados, en comparación con otra fuente alterna, por lo que primero sería necesario estandarizar el extracto de apio y determinar la concentración presente mediante metodologías analíticas.

Por otra parte, el precio de la sal de cura es relativamente constante y la mayoría las casas de sabores la comercializan, en contraste con los extractos vegetales donde se debe conseguir un proveedor, verificar su disponibilidad y considerar que su precio puede fluctuar por la temporada y el tipo de cambio en caso de ser importado. No obstante, en un futuro el uso de extractos vegetales podría resultar viable y cubriría el sector de consumidores que buscan alimentos más saludables y con la cantidad mínima de conservadores.

El efecto adverso principal del exceso de nitratos y nitritos sobre la salud del consumidor es la formación de N-nitrosaminas que pueden ser carcinogénicas, razón por la cual los productos cárnicos han sido evaluados recientemente por distintos organismos especializados en la salud y en el estudio del cáncer. Los productos cárnicos son una de las principales fuentes de nitrosaminas en los alimentos, sin embargo, se deben considerar otras actividades del consumidor que pueden aumentar el riesgo de padecer algún tipo de cáncer como el tabaquismo. Se ha encontrado que la presencia de nitrosaminas puede incrementar en un 20% la probabilidad de desarrollar distintos tipos de cáncer, principalmente colorrectal. Esta situación se favorece con una dieta pobre en el consumo de vegetales, por lo que, para evitar efectos colaterales dañinos se debe promover el consumo de una dieta equilibrada rica en antioxidantes que prevenga la formación de nitrosaminas, en lugar de evitar el consumo de carne.

Es importante mencionar que el uso de nitritos mejora el color y sabor. Pero el abuso de esta sal se puede provocar un fenómeno conocido como “quemazón”, lo que genera una textura reseca y desagradable para el consumidor sin considerar el sabor excesivamente salado del producto. Otro efecto no deseado sobre las características sensoriales es generado por el uso excesivo de fosfatos que son utilizados para mejorar la capacidad de retención de agua y aumentar el pH, cuando estos compuestos se adicionan en exceso puede generar sabores jabonosos y texturas suaves por el exceso de agua retenida. No obstante el uso de fosfatos debe ser el permitido por las normas oficiales mexicanas.

Otro compuesto adicionado es el cloruro de sodio, causante de distintas enfermedades cardiovasculares principalmente hipertensión que pueden desencadenar otro tipo de enfermedades. El control en la adición de este compuesto es importante porque es uno de los principales problemas nacionales de salud. Sin embargo, hay que resaltar que este tipo de enfermedades cardiovasculares son multifactoriales donde influye la ganancia de peso, el estilo de vida sedentario, la resistencia a la insulina, el consumo de alcohol, un bajo consumo de potasio y el estrés psicosocial.

A partir de la información anterior se sugiere que es necesario fomentar en la sociedad la actividad física, una dieta equilibrada, disminuir su consumo de azúcares. En general llevar un estilo de vida saludable; antes de suprimir algún alimento aprender a racionar adecuadamente. A los productores les corresponde mejorar la oferta de productos cárnicos, ofrecer productos adicionados con antioxidantes y bajos en sodio. Para esto es importante seguir investigando posibles sustitutos de las sales de sodio, buscando que el consumidor no perciba ninguna diferencia sensorial. Sin embargo, no es posible eliminar completamente el sodio de los productos cárnicos porque es un compuesto necesario en las funciones metabólicas del organismo y contra el crecimiento de microorganismos patógenos.

## Conclusiones

- México es uno de los principales países productores de carne y productos cárnicos a nivel mundial, durante la presente investigación se observó que los más producidos fueron salchicha, jamón, chorizos, mortadela y tocino.
- Las operaciones unitarias necesarias para desarrollar las características más importantes de los productos cárnicos son: curado, cocido, maduración y fermentación.
- Las normas mexicanas que regulan la calidad de los productos cárnicos, son obsoletas, se recomienda que deberían actualizarse y ser de carácter obligatorio.
- Las principales sales utilizadas son nitratos y nitritos de sodio, cloruro de sodio, fosfatos de sodio y sales reductoras, se utilizan para generar el color y sabor característico de la carne curada, retardar reacciones de oxidación, inhibir el crecimiento de microorganismos y evitar efectos adversos sobre la salud del consumidor.
- La formación del complejo entre la mioglobina y el óxido nítrico es responsable de la formación del color y el sabor de los productos cárnicos. En acción conjunta los fosfatos y el cloruro de sodio disocian el complejo muscular, permitiendo la apertura de las proteínas mejorando la capacidad de retención de agua y la textura.
- El exceso de sales puede propiciar formación de compuestos procarcinogénicos como las nitrosaminas, las cuales haciendo más propenso al consumidor de sufrir algún tipo de cáncer.

## Referencias

1. Ahhmed, A., Muguruma, M. (2010). A review of meat protein hydrolysates and hypertension. *Meat Science*, 86, 110-118.
2. Alahakoon, A., Jayasena D., Ramachandra, S., Jo, C. (2015). Alternatives to nitrite in processed meat: Up to date. *Food Science & Technology*, 45, 37-49.
3. Astruc, T., Labas, R., Vendeuvre, J.L., Martin, J.L., Taylor, R. (2008). Beef sausage structure affected by sodium chloride and potassium lactate. *Meat Science*, 80, 1092-1099.
4. Boada, L., Henriquez-Hernandez, L.A., Luzardo, O.P. (2016). The impact of red and processed meat consumption on cancer and other health outcomes: Epidemiological evidences. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 236-244.
5. Brankovic, I., Raseta, M., Nikolic, D., Lukic, Mirjana L., Karan, D., Lilic, S. (2015) Reducing the sodium chloride content in chicken pate by using potassium and ammonium chloride. *Procedia Food Science*, 5, 22-25.
6. Bryan, N. (2016). Nitrites and nitrates. *Encyclopedia of Food and Health*, 73-78.
7. Consejo Mexicano de la Carne, (2015). Compendio estadístico 2015 de la industria cárnica mexicana. [En línea]. Disponible en: <http://infocarne.comecarne.org/compendio/visualizar?comp=8&componente=382> (Accesado por última vez: 15/05/2016)
8. De Maere, H., Fraeye, I., De Mey, E., Dewulf, L., Michiels, C., Paelinck, H., Chollet, S. (2016). Formation of naturally occurring pigments during the production of nitrite-free dry fermented sausages. *Meat Science*, 114, 1-7.

9. De Mey, E., De Klerck, K., De Maere, H., Dewulf, L., Derdelinckx, Peeters, M., Fraeye, I., Vander Heyden, Y., Paelinck, H. (2014). The occurrence of N-nitrosamines, residual nitrite and biogenic amines in commercial dry fermented sausages and evaluation of their occasional relation. *Meat Science*, 96, 821-828.
10. Drabik-Mandiewicz, G., Dejaegher, B., De Mey, E., Kowalska, T., Paelinck, H., Vander Heyden, Y. (2011). Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat. *Food Chemistry*, 126, 1539-1545.
11. Ergezer, H., & Gokce, R. (2011). Comparison of marinating with two different types of marinade on some quality and sensory characteristics of turkey breast meat. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10, 60–67.
12. European Food Safety Authority. (2003). Opinion of the scientific panel on biological hazards on the request from the commission related to effects of Nitrates/Nitrites on the microbiological safety of meat products, *The EFSA Journal*, 14, 1-31.
13. Feiner, G. (2016). *Salami: Practical science and processing technology*. Londres: Academic Press.
14. Goli, T., Ricci, J., Bohuon, P., Marchesseau, S., Collignan, A. (2014). Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat. *Meat Science*, 96, 1113-1140.
15. Gutiérrez J.P., Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernández S, Franco A, Cuevas-Nasu L, Romero-Martínez M, Hernández-Ávila M. (2012). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública.

16. Herrmann, S.S., Duedahl-Olesen, L., Granby, K. (2015). Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment. *Food Control*, 48, 163-169.
17. Herrmann, S.S., Duedahl-Olesen, L., Christensen, T., Olesen, P.T., Granby, K. (2015). Dietary exposure to volatile and non-volatile N-Nitrosamines from processed meat products in Denmark. *Food and Chemical Toxicology*, 80, 137-143.
18. Honikel, K. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78, 68-76.
19. Honikel, K. (2009). Oxidative changes and their control in meat and meat products. En: F. Toldrá ed. *Safety of Meat and Processed Meat*. New York: Springer.
20. Hunt, M., King, A. (2012). Myoglobin Chemistry. En: *Meat color measurement guidelines*. Illinois: American Meat Science Association.
21. Hutton, T. (2002). Sodium technological functions of salt in the manufacturing of food and drink products, *British Food Journal*, 104 (2): 126-152.
22. Indyk, H., Woollard, D. (2011). Contaminants of Milk and Dairy Products | Nitrates and Nitrites as Contaminants. En: Fuquay J., Fox P. and McSweeney P. eds. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. San Diego: Academic Press
23. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2014). Encuesta nacional de gastos e ingresos de los hogares. [En línea]. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/enigh2014/tradicional/doc/resultados\\_enigh14.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/enigh2014/tradicional/doc/resultados_enigh14.pdf) (Accesado por última vez: 15/05/2016).

24. Jiang, J., Xiong, Y. (2016) Natural antioxidants as food and feed aditives to promote the health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120, 107-117.
25. Killday, K.B., Tempesta, M.S., Bailey, M.E., Metral, C.J., (2008). Structural characterization of nitrosylhemochromogen of cooked cured meat: Implications in the meat curing reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36, 909–914.
26. Klein, B. (2013). *Fisiología veterinaria*, 5ª edición, Madrid: Elsevier Science.
27. Larsson, S.C., Wolk, A. (2012). Red and processed meat consumption and risk of pancreatic cancer: meta-analysis of prospective studies. *British Journal of Cancer*, 106, 603-607.
28. Long, N., Gál, R., Buňka, F. (2011). Use of phosphates in meat products. *African Journal of Biotechnology*, 10, 19874-19882.
29. Lilic, S., Brankovic, I., Koricanac, V., Vranic, D., Spalevic, L., Pavlovic, M., Lakicevic, B. (2015). Reducing sodium chloride content in meat burgers by adding potassium chloride and onion. *Procedia Food Science*, 5, 164-167.
30. McCarty, M. (2004). Should we restrict chloride rather than sodium? *Medical hypotheses*, 63, 138-148.
31. McCough, M., Sato, T., Rankin, S., Sindelar, J. (2012). Reducing sodium levels in frankfurters using naturally brewed soy sauce. *Meat Science*, 91, 69-78.

32. Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. Información comercial y sanitaria.
33. Norma Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994. Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias.
34. Norma Oficial Mexicana NOM-145-SSA1-1995. Productos cárnicos troceados y curados. Productos cárnicos curados y madurados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
35. Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003. Jamón-Denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba.
36. Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002. Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
37. Norma Mexicana NMX-F-065-1984. Alimentos. Salchichas. Especificaciones.
38. Norma Mexicana NMX-F-126-1969. Alimentos para uso humano. Calidad para tocino.
39. Norma Mexicana NMX-F-202-1971. Calidad para mortadela.
40. Norma Mexicana NMX-F-543-1992. Alimentos. Determinación de nitritos en productos cárnicos. Método de prueba.

41. Ockerman, H., Basu, L. (2014). Other ingredients, *Encyclopedia of Meat Sciences*, 1, 269-301.
42. Organización Mundial de la Salud [OMS] (2007). Reducing salt intake in populations: Report of a WHO Forum and Technical Meeting. Geneva, Switzerland: WHO Document Production Services.
43. Pegg, R., Shahidi, F. (2000). Nitrite curing of meat. The *N*-Nitrosamine problem and nitrite alternatives, *Food and Nutrition Press Inc*, Trumbull.
44. Phillips, A., Mancini, R., Sun, Q., Lynch, M., Faustman, C. (2001). Effect of erythorbic acid on cooked color in ground beef. *Meat Science*, 57, 31-34.
45. Procuraduría Federal del Consumidor. (2010). Salchichas para hot dog. El rey de los embutidos al confesionario. [En línea]. Disponible en: <http://www.consumidor.gob.mx/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/29-42RC431Estudio-Jamon1.pdf> (Accesado por última vez: 26/09/2016)
46. Procuraduría Federal del Consumidor. (2013). Acuerdo por el que se aprueba el programa nacional de protección a los derechos del consumidor 2013-2018 [En línea]. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5343849&fecha=08/05/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343849&fecha=08/05/2014) (Accesado por última vez: 10/11/2016)
47. Procuraduría Federal del Consumidor. (2013). Jamón: la tradición puesta bajo la lupa. [En línea]. Disponible en: <http://www.consumidor.gob.mx/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/29-42RC431Estudio-Jamon1.pdf> (Accesado por última vez: 13/01/2016)

48. Roldán, M., Antequera, T., Pérez, T., Ruiz, J. (2014). Effect of added phosphate and type of cooking method on physico-chemical and sensory features of cooked lamb loins. *Meat Science*, 97, 69-75.
49. Reig, M., Toldrá, F., (2010). Detection of chemical hazards. En: Toldrá, F. ed. *Handbook of meat processing*, Iowa: Wiley-Blackwell, 469-480.
50. Ruusunen, M., Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70, 531-534.
51. Sampels, S. (2013). Oxidation and antioxidants in fish and meat from farm to fork. En: I. Muzzalupo ed. *Food Industry*, Italia: Intech.
52. Sebranek, J. (2009). Basic Curing Ingredients. En: R. Tarté Ed. *Ingredients in Meat Products*, New York: Springer.
53. Sebranek, J., Bacus, J. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77, 136-147.
54. Shahidi, F., Samaranyaka, A. (2014). Curing. Brine curing of meat. *Encyclopedia of Meat Science*, 416-424.
55. Silverthorn, D. (2008). *Fisiología Humana. Un enfoque integrado*. 4ª edición, Madrid: Ed. Medica Panamericana.
56. Sindelar, J., Milkowski, A. (2011). Sodium nitrite in processed meat and poultry meats: A review of curing and examining the risk/benefit of its use. *American Meat Science Association*, 3, 1-11.
57. Skibsted, L. (2011). Nitric oxide, quality, and safety of muscle based foods. *Nitric Oxide*, 24, 176-183.

58. Subramanian, J.H., Kagliwal, L.D., Singhal, R.S. (2014). Permitted preservatives-Nitrites and nitrites. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 3, 92-98.
59. Thomas, D.D., Roopnarine, O. (2006). An overview of the actin-myosin interactions. En: D. Thomas, C. Dos Remedios. eds. *Molecular interactions of actin. Actin-myosin interaction and actin-based regulation*. Berlin: Springer.
60. Toldrá, F., Aristoy, M., Flores, M. (2009). Relevance of nitrate and nitrite in dry-cured ham and their effects on aroma development. *Grasas y aceites*, 60 (3): 291-296.
61. Totosaus, A. (2007). Implicaciones de la reducción de sodio en sistemas cárnicos emulsionados. *Nacameh*, 1, 75-86.
62. Ünal, S., Erdoğan, F., Ekiz, I., Ödzemir, Y. (2004). Experimental theory, fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering*, 65, 263-272.
63. Ünal, S., Erdoğan, F., Ekiz, I. (2006). Effect of temperature on phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering*, 76, 119-127.
64. Wang, P., Xu, X., Zhou, G. (2009). Effects of meat and phosphate level on water holding capacity and texture of emulsion type sausage during storage. *Agricultural Sciences in China*, 8(12): 1475-1481.
65. Welsch, U., Sobotta, J. (2008). *Histología*, 2ª edición, Madrid: Ed. Médica Panamericana.
66. Xiong, Y., (2005). Role of myofibrillar proteins in water binding in brine enhanced meats. *Food Research International*, 38, 281-287.

67. Xiong, Y., (2004). Muscle proteins. En: R. Yada, ed. *Proteins in food processing*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 100-118.
68. Voet, D., Voet J., Pratt, C. (2007). *Fundamentos de bioquímica*, 2ª edición, Madrid: Ed. Médica Panamericana.
69. WCRF, (2011). Colorectal Cancer 2011 Report. Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Colorectal Cancer. *American Institute for Cancer Research*, Washington DC.