



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

## **Efecto de la adición de carragenina kappa y goma de algarrobo en jamón cocido de carne de conejo**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**  
P R E S E N T A :  
**THALIA SANCHEZ ENRIQUEZ**

ASESORAS:

DRA. ADRIANA LLORENTE BOUSQUETS

I.A. MARÍA GUADALUPE LÓPEZ FRANCO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Tesis y Examen Profesional**

**Efecto de la adición de carragenina kappa y goma de algarrobo en jamón cocido de carne de conejo.**

Que presenta la pasante: **Thalia Sanchez Enriquez**  
Con número de cuenta: **411091439** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de Noviembre de 2016.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	M.A. Jorge López Pérez	
<b>VOCAL</b>	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
<b>SECRETARIO</b>	Dr. José Luis Arjona Román	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en C. Enrique Fuentes Prado	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. Jonathan Coria Hernández	

NOTA: Ics sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

IHM/cga\*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por las bendiciones de cada día y por haberme permitido concluir esta etapa tan importante de mi vida. Gracias, por tanto.

A mi padre Pablo, mi ángel que me cuida donde quiera que voy, gracias por todo. Te llevo siempre en mi corazón. Te amo papá.

A mi madre Andrea, que sin su apoyo esto no hubiera sido posible, gracias por darme la oportunidad de cumplir mis sueños y creer en mí, por ser un ejemplo de vida y por los ánimos que me das siempre para seguir adelante. Te amo mamá.

A mi hermana Selene y a mi cuñado Julian, por el cariño y apoyo que me brindaron durante este camino, pero sobre todo por darme la dicha de ser tía de tres hermosos niños (Mary, Joshua y Alex) que me motivan a ser una mejor persona. Los amo.

A Juan Carlos, por demostrarme su apoyo incondicional para que pudiera lograr este sueño, gracias amor por compartir tantos momentos y hacer más amena mi vida, pero sobre todo gracias por hacer de mí una mejor persona. Te amo mucho.

A mis amigas, Lizbeth, Lili, Brenda, Marlene, Karina por todos momentos tan lindos que pasamos juntas durante la carrera, por el apoyo que me brindaron cuando lo más lo necesite, siempre estaré agradecida con ustedes. También agradezco a Marce y a Diana por su amistad incondicional, gracias por todos sus consejos para que pudiera concluir este ciclo. Finalmente agradezco a Ana Lilia por los ánimos que me brindo para que consiguiera este sueño, gracias por tu amistad. Las quiero mucho.

A la Dra. Adriana Llorente, por ser mi asesora de tesis y brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo el proyecto, gracias por todos sus consejos y ánimos para que pudiera seguir adelante.

A la I.A Guadalupe Franco, por ser mi co-asesora de tesis y brindarme su apoyo en este proyecto.

Al M.C. Jonathan Coria, por sus comentarios, consejos y ánimos que me brindo para que pudiera concluir este ciclo tan importante, pero sobre todo gracias por ser una linda persona conmigo.

A mis sinodales, por su tiempo y dedicación en la revisión de la tesis, en verdad muchas gracias por sus comentarios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la FES Cuautitlán por abrirme las puertas de esta gran comunidad para que pudiera prepararme y formarme como Ingeniera en Alimentos.

**¡MUCHAS GRACIAS!**

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis se realizó en el Taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos: Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos y se llevó a cabo en el Lab. 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria con el apoyo del proyecto **DGAPA-PAPIIT IT202312**

Las raíces de los verdaderos logros residen en la  
voluntad de convertirse en lo mejor que puedas  
llegar a ser.

Harold Taylor

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO 1. MARCO TEORICO	2
1.1 Estructura del tejido muscular	2
1.1.1 Macro y microestructuras	3
1.1.2 Conversión de músculo en carne	4
1.2 Definición	7
1.2.1 Carne	7
1.2.2 Carne de conejo	8
1.3 Composición química de la carne de conejo	9
1.4 Valor nutrimental de la carne de conejo	10
1.5 Productos cárnicos cocidos	12
1.5.1 Denominación comercial de jamón	12
1.5.2 Clasificación comercial de jamón de carne de conejo	13
1.6 Funcionalidad de los ingredientes del jamón cocido de carne de conejo	13
1.6.1 Ingredientes cárnicos	13
1.6.2 Ingredientes no cárnicos	18
1.7 Principales etapas del proceso de elaboración del jamón cocido de conejo	25
1.7.1 Molienda	25
1.7.2 Curado de la carne	25
1.7.3 Masajeo	25
1.7.4 Embutido	26
1.7.5 Tratamiento térmico (cocción)	27
1.7.6 Enfriamiento	28
1.8 Métodos de evaluación del sistema cárnico	29
1.8.1 Firmeza del jamón cocido	29
1.8.2 Estabilidad del jamón cocido	31
JUSTIFICACIÓN	36
OBJETIVOS	37
HIPÓTESIS	37

CAPÍTULO 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	39
2.1 Cuadro metodológico	39
2.2 Descripción de la metodología experimental	40
2.2.1 Determinación de la mezcla de hidrocoloides	40
2.2.2 Determinación del pH de la carne de conejo	41
2.2.3 Obtención de la formulación de jamón de conejo	42
2.2.4 Adecuación del proceso de elaboración de jamón cocido de conejo	43
2.2.5 Diseño experimental	44
2.2.6 Unidades experimentales	45
2.2.7 Evaluación de los lotes experimentales	49
2.2.7.1 Obtención de rendimientos por cocción	50
2.2.7.2 Rebanabilidad de jamón cocido	50
2.2.7.3 Determinación de la resistencia a la deformación del jamón cocido	51
2.2.7.4 Determinación de CRA mediante centrifugación controlada	51
2.2.7.5 Sinéresis de jamón durante almacenamiento en refrigeración	52
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1 pH de la carne	54
3.2 Rendimientos	54
3.3 Rebanabilidad	55
3.4 Resistencia a la deformación	57
3.5 CRA	59
3.6 Sinéresis	61
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	73



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición química de la carne de conejo	9
<b>Cuadro 2.</b> Comparación de la composición química de la carne de diferentes especies	10
<b>Cuadro 3.</b> Composición por 100 gramos de porción comestible	11
<b>Cuadro 4.</b> Clasificación comercial del Jamón	13
<b>Cuadro 5.</b> Propiedades funcionales de las proteínas cárnicas	17
<b>Cuadro 6.</b> Porcentajes de mezcla de hidrocoloides	41
<b>Cuadro 7.</b> Formulaciones para la elaboración de jamón cocido de carne de conejo	43
<b>Cuadro 8.</b> Valores de pH de la materia prima cárnica	54
<b>Cuadro 9.</b> Valores de rebanabilidad (%)	56
<b>Cuadro 10.</b> Resultados de resistencia a la deformación (kgf)	58
<b>Cuadro 11.</b> Resultados de capacidad de retención de agua (%)	60
<b>Cuadro 12.</b> Resultados de sinéresis (%)	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura del músculo esquelético.	2
<b>Figura 2.</b> Organización de la fibra muscular	4
<b>Figura 3.</b> Dureza de la carne a través de las fases de transformación de musculo a carne	6
<b>Figura 4.</b> Canal de conejo	11
<b>Figura 5.</b> Estructura de la miosina	14
<b>Figura 6.</b> Estructura de la actina	15
<b>Figura 7.</b> Principales propiedades funcionales de las proteínas cárnicas	16
<b>Figura 8.</b> Interacción de la carragenina con las proteínas: a) por encima del punto isoelectrico, b) en el punto isoelectrico y c) por debajo del punto isoelectrico	22
<b>Figura 9.</b> Estructura química de la goma de algarrobo	24
<b>Figura 10.</b> Estructura química de la carragenina	24
<b>Figura 11.</b> a) Miofibrillas de la carne fresca, b) miofibrillas durante el masajeo de carne con salmuera y c) miofibrillas después de 24 horas de masajeo	26
<b>Figura 12.</b> Fundas de diferente tamaño y forma para embutir jamones	27
<b>Figura 13.</b> Influencia del pH sobre la CRA de la carne	33
<b>Figura 14.</b> Influencia de la adición de cloruro sódico en la CRA y dependencia de la misma con el pH	35
<b>Figura 15.</b> Medición de pH de la materia prima cárnica	42
<b>Figura 16.</b> Diagrama de proceso	44
<b>Figura 17.</b> Acondicionamiento de la materia prima	45
<b>Figura 18.</b> Molienda de la pulpa de conejo	46
<b>Figura 19.</b> Preparación de la salmuera	47

<b>Figura 20.</b> a) Adición de la salmuera b) obtención de la pasta cárnica	47
<b>Figura 21.</b> Aditamento para embutir jamones	48
<b>Figura 22.</b> Arreglo de termopares para la determinación del tiempo de cocción	49
<b>Figura 23.</b> Rebanadora marca TOR-REY modelo SS-300	50
<b>Figura 24.</b> Determinación de la resistencia a la deformación	51
<b>Figura 25.</b> a) Centrifuga CENTURION SCIENTIFIC LTD, modelo K20103R, b) colocación de los tubos en la centrifuga y c) medición del volumen del sobrenadante	52
<b>Figura 26.</b> Rendimiento de los lotes de jamón cocido de carne de conejo	55
<b>Figura 27.</b> Gráfico de rebanabilidad de los jamones	56
<b>Figura 28.</b> Gráfico de caja para ANOVA de dos vías (Resistencia a la deformación)	58
<b>Figura 29.</b> Gráfico de caja para ANOVA de dos vías (CRA)	60
<b>Figura 30.</b> Gráfico de % de sinéresis de los jamones	62

## RESUMEN

La industria cárnica ha desarrollado diversas alternativas de productos cárnicos cocidos, por ejemplo, mediante el uso de diferentes materias primas, por otro lado, han evolucionado las formulaciones de productos, adicionando aditivos alimentarios que modifican algunas propiedades físicas y fisicoquímicas del producto final.

En este proyecto se utilizó carne de conejo de raza California para la elaboración de un jamón cocido, por su valor nutritivo y propiedades dietéticas. También se emplearon aditivos alimentarios que tienen la funcionalidad de modificar la capacidad de retención de agua (CRA), la sinéresis, la resistencia a la deformación, la rebanabilidad y el rendimiento del jamón. Se adicionó una mezcla de hidrocoloides en la formulación para obtener mejores características en el jamón. Las propiedades funcionales de los hidrocoloides que se utilizan favorecen el desarrollo de propiedades funcionales de la textura, al interactuar con en el agua en la formación y estabilidad del sistema cárnico.

El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de la adición de una mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo (70-30 %) a diferentes concentraciones en la elaboración de un jamón cocido de carne de conejo y asimismo analizar su influencia sobre las características finales de firmeza y estabilidad del producto cárnico. Se prepararon tres diferentes lotes de jamones cocidos de carne de conejo con niveles de variación en la concentración de 0%, 0.6% y 0.8 % de hidrocoloides. Posteriormente se evaluaron la resistencia a la deformación, rebanabilidad, CRA y sinéresis, al primer y quinto día en almacenamiento a 4 °C para analizar el efecto de los hidrocoloides sobre la firmeza y estabilidad en el jamón. Los resultados obtenidos se analizaron mediante ANOVA de dos vías ( $P < 0.05$ ) para cada variable de respuesta, con Minitab 16.0. El análisis estadístico de los resultados permite analizar que se evaluaron las propiedades: rebanabilidad, resistencia a la deformación, CRA y sinéresis. Las concentraciones de la mezcla de hidrocoloides (70% carragenina kappa y 30% goma de algarrobo) 0.6% y 0.8 % y el tiempo de almacenamiento presentaron diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en los resultados de resistencia a la deformación y un porcentaje de rebanabilidad mayor que la concentración de 0% (control), por lo tanto, tienen un efecto en la firmeza del jamón cocido de carne de conejo. Por otra parte, los valores de CRA de las concentraciones de 0 y 0.6% de hidrocoloides no tuvieron diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) con respecto al tiempo en almacenamiento, sin embargo, la concentración de 0.08% si presentó una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) con respecto al primer y quinto día, el cual obtuvo mayor %CRA (20.5%). La adición de carragenina kappa y goma de algarrobo permitió la formación de un sistema estable a la rebanabilidad, resistencia a la deformación y disminuyó la sinéresis. Así mismo se obtuvieron mayores rendimientos. Cabe señalar que la interacción entre los hidrocoloides mejoró las características del gel, por lo tanto, hubo sinergismo. La concentración de hidrocoloides de 0.8% tuvo un mayor efecto ( $P < 0.05$ ) en las propiedades de firmeza (resistencia a la deformación y rebanabilidad) y estabilidad (CRA y sinéresis) de los jamones cocidos de carne de conejo.

## INTRODUCCIÓN

La carne se compone fundamentalmente de músculo y de cantidades variables de tejido conectivo de todos los tipos, así como de una pequeña porción de tejido epitelial y nervioso. El músculo esquelético es la fuente principal de tejido muscular de la carne. Aunque en la carne se encuentran todos los tipos de tejidos conectivos, predominan el adiposo, hueso, cartílago y conectivo propiamente dicho. El músculo y los tejidos conectivos son los componentes mayores de la carne (músculo, grasa y huesos) de la canal animal y son los responsables, casi exclusivamente, de las características cualitativas y cuantitativas de la carne. (Forrest y col., 1979).

La carne de conejo es de las carnes más saludables que se puede consumir, pues aporta vitaminas del grupo B y K, minerales y proteínas de buena calidad; además, la carne de conejo es una carne magra, con un bajo contenido de grasa y con menor contenido en ácidos grasos saturados y colesterol que otras especies como el porcino, vacuno y ovino (Camps, 1996). Pérez (2010) utilizó carne de conejo, para elaborar productos cárnicos, como es el jamón cocido como una alternativa en la industria cárnica (NOM-213-SSA1-2002; NOM-158-SCFI-2003). López (2004) menciona que la calidad de los jamones cocidos está ligada a diversos factores: materia prima, composición de la salmuera, tecnología de elaboración, temperatura, tiempos y modalidades de cocción.

La industria cárnica ha venido evolucionando en la formulación de sus productos, con el fin de reducir costos de producción, pero tratando de conservar las características de calidad deseadas; debido a esto se han desarrollado aditivos alimentarios diseñados para mantener la textura, retener y estabilizar agua, siendo identificados como ingredientes funcionales, con un impacto en la calidad sensible para el consumidor. Es importante determinar las proporciones en las cuales estos hidrocoloides, pueden ser mezclados para favorecer un mayor efecto sinérgico. El proceso de elaboración de los jamones cocidos se compone de molienda, curado de la carne, masaje, embutido, cocción y enfriamiento en donde se tiene como objetivo; lograr una elevada retención de agua y la formación de un gel cárnico, para ello se tiene que conseguir una buena extracción y solubilización de las proteínas musculares, mismas que tienen un efecto de adhesión entre los trozos de carne y retienen agua, debido a que forman un retículo tridimensional de filamentos. Al momento de incorporar

hidrocoloides a un producto determinado, se debe considerar la compatibilidad con otros ingredientes que conforman la formulación, y también los posibles efectos que puedan generarse sobre el producto final (Mendoza y col., 1998). Los hidrocoloides en productos cárnicos como en el jamón cocido, presentan diferentes funcionalidades como agentes texturizantes, retenedores de humedad (reducen mermas de cocción) y estabilizantes (reducen la sinéresis). Como agentes texturizantes aumentan la resistencia a la deformación y en el rebanado se obtienen rebanadas íntegras.

La carragenina kappa se utiliza como agente gelificante, tiene compatibilidad con algunos polisacáridos, como los galactomananos, que aumentan significativamente la capacidad de retención de agua de los geles formados, disminuyendo también la sinéresis (Rhodia, 1999; Amako y Xiong, 2001; López, 2004; Verdequen y col., 2005).

Por ende, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de la adición de una mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo, aprovechando sus propiedades funcionales en la elaboración de jamón cocido de carne de conejo para mejorar la estabilidad y firmeza del sistema.

# **Capítulo 1.**

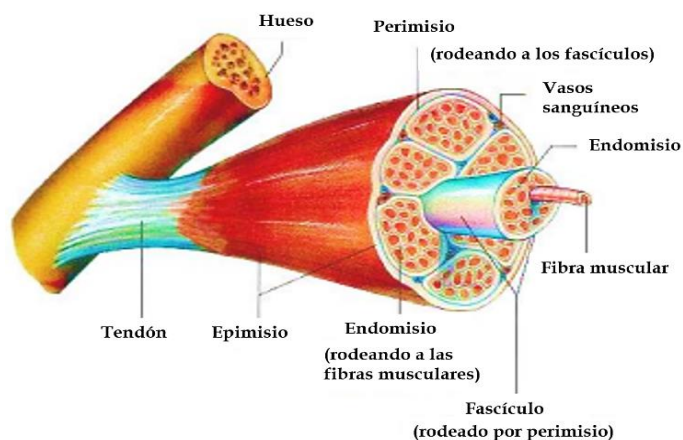
## **Marco teórico**

# 1. MARCO TEORICO

## 1.1 Estructura del tejido muscular

El tejido muscular es el componente principal de la carne y está asociado con el movimiento, y también de la posición del esqueleto, el tejido muscular esquelético representa del 35-65% del peso de la canal; sumado a esto; Hui y colaboradores (2006) hacen referencia a que la canal de los animales está constituida por más de 600 músculos, los cuales varían en su forma, tamaño y función, siendo esta última la responsable de las características específicas de cada uno de ellos.

El músculo esquelético es un músculo estriado debido a que al observarlo al microscopio presenta bandas transversales que se unen directa o indirectamente a los huesos, pero algunos lo hacen inicialmente a ligamentos, fascias, cartílagos y piel. Cada músculo está rodeado por una capa gruesa de tejido conectivo denominado epimisio, de este epimisio salen elementos del tejido conectivo que se internan en los músculos agrupando las fibras musculares; esta cobertura de fibras recibe el nombre de perimisio (Restrepo y col., 2001). Del perimisio salen capas muy finas de tejido conectivo que envuelven cada capa de fibra muscular, esta envoltura es llamada endomisio. El epimisio, perimisio y endomisio se unen al extremo del músculo para formar los tendones mediante los cuales los músculos se insertan en los huesos (Lawrie, 1998) (Figura 1). Así mismo, en el músculo entran y salen fibras nerviosas y vasos sanguíneos a través de los canales formados por el tejido conectivo, proporcionándole de esta forma un sistema de inervación y un lecho vascular para el aporte de nutrimentos y eliminación de desechos (Forrest y col., 1979).



**Figura 1.** Estructura del músculo esquelético.

*Fuente:* Montalvo, 2011.

### 1.1.1 Macro y microestructuras

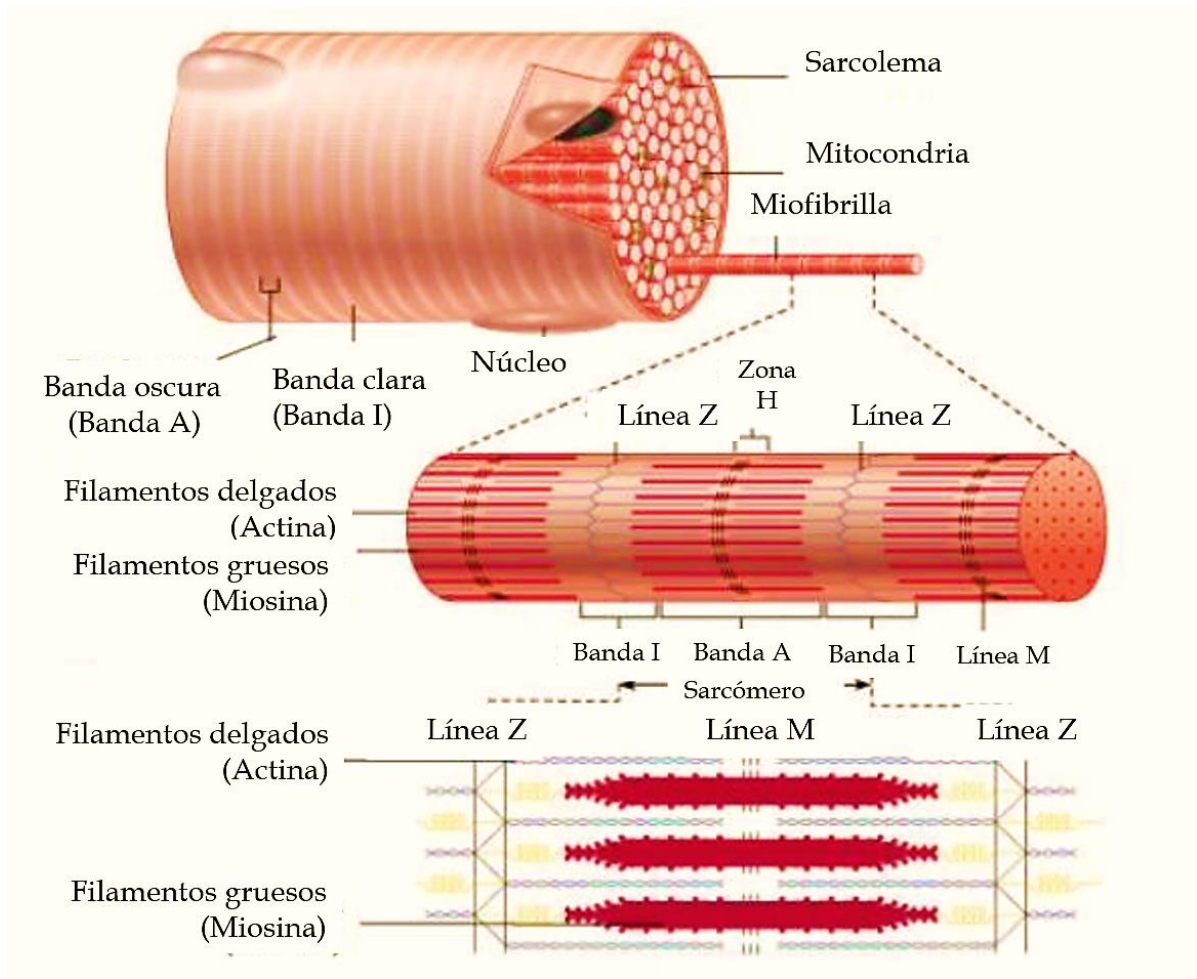
El músculo esquelético estriado está constituido por células filamentosas altamente especializadas, llamadas fibras musculares que son células multinucleadas, estrechas y largas que pueden extenderse de uno a otro extremo del músculo y alcanzar hasta una longitud de 34 cm a pesar de tener un diámetro que oscila entre 10 y 100  $\mu\text{m}$  (Forrest y col., 1979).

La membrana que rodea la fibra muscular se llama sarcolema y está compuesta de material lipídico-proteico. El sarcolema es una delicada membrana que se encuentra inmediatamente debajo del endomisio; es relativamente elástica y está muy relacionada con la contracción, relajación y estiramiento del músculo.

La apariencia estriada característica de la fibra es debida a la presencia de series de delgadas unidades estriadas transversalmente conocidas como miofibrillas. Las miofibrillas son orgánulos únicos del tejido muscular. Son elementos intracelulares, largos, contráctiles, de aproximadamente 1 a 2  $\mu\text{m}$  de espesor (Andúgar y col., 2003), que se extienden a lo largo de la fibra muscular. Dentro de las miofibrillas están los miofilamentos que son los responsables de las bandas claras y oscuras del músculo estriado, son llamados filamentos gruesos y delgados de miosina y actina, las cuales son las proteínas directamente implicadas en el proceso de contracción y relajación del músculo (Restrepo y col., 2001).

En la Figura 2 se observa una serie de elementos estructurales de las miofibrillas, la banda clara se llama banda I, contiene mayormente moléculas de actina. La amplia banda oscura se llama banda A, y contiene moléculas de miosina (Murai y col., 1995). La banda I está dividida por una banda oscura estrecha llamada línea Z, que es una estructura densa tridimensional (Vigoreaux, 1994). La porción de miofibrilla comprendida entre dos líneas Z adyacentes se llama sarcómero, y comprende una banda A y dos medias bandas I que se localizan a cada lado de la banda A. El sarcómero es la unidad estructural repetitiva de la miofibrilla, así como la unidad básica en la que tiene lugar el ciclo de contracción-relajación (Price y Schweigert, 1994). La longitud del sarcómero varía, pero se puede admitir una longitud media de 2.5  $\mu\text{m}$  (Lawrie, 1998).





**Figura 2.** Organización de la fibra muscular

*Fuente:* [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211614/Modulo/leccin\\_1\\_estructura\\_del\\_tejido\\_muscular.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211614/Modulo/leccin_1_estructura_del_tejido_muscular.html)

### 1.1.2 Conversión de músculo en carne

La conversión del músculo en carne tiene lugar después de que los animales han sido sacrificados (Moulton y Lewis, 1940). La interrupción de la circulación sanguínea priva al músculo del aporte de oxígeno, la respiración celular se paraliza y surge la síntesis anaeróbica de energía. Después de ser sangrado un animal, las fibras musculares sobreviven durante algún tiempo mediante glucólisis anaerobia, aunque más tarde agotan la energía. Puede agotarse, bien su depósito primario de carbohidratos, el glucógeno, o bien el producto final de la glucólisis anaerobia el lactato. Es entonces cuando las fibras musculares comienzan a

perder su integridad al no disponer de energía (Bodwell y col., 1965). Sentandreu y colaboradores (2002) mencionan que el proceso de conversión del músculo en carne puede dividirse en tres fases:

### ***Fase Pre-rigor***

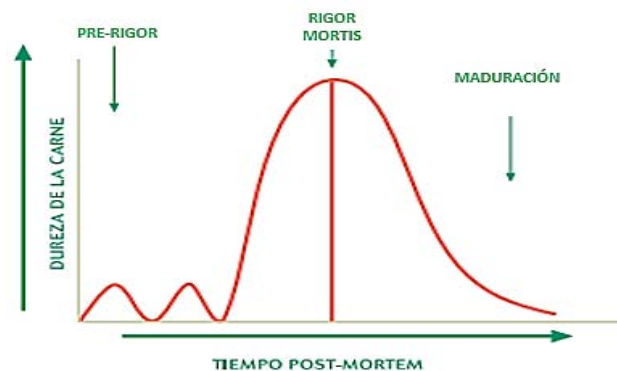
Esta fase ocurre después de la muerte donde cesa la circulación sanguínea lo que provoca cambios importantes en el tejido muscular. Los cambios principales son atribuibles a la falta de oxígeno (condiciones anaeróbicas) y en la cual se genera ácido láctico (Bailey y Light, 1989). El sistema circulatorio provee de oxígeno y nutrimentos al tejido muscular, además de eliminar los metabolitos de desecho. Con la exanguinación, la única fuente posible de oxígeno para soportar el metabolismo aerobio es aquel que se encuentra unido a la de la mioglobina (Hui y col., 2006). La célula trata de mantener un alto nivel energético, pero al fallar el sistema circulatorio, el metabolismo oxidativo de los lípidos cesa y el ATP se agota gradualmente por la acción de las ATP-etas. Se genera ATP por conversión de creatín-fosfato en creatina y transferencia de su fosfato al ADP. Cuando el oxígeno se agota en el tejido muscular, inicia la glucólisis anaerobia como única vía para generar ATP, acumulándose lactato como producto final. La actividad glucolítica también cesa debido al agotamiento de sustrato o, con más probabilidad, por descenso del pH causado por la hidrólisis de ATP; aunque este descenso también está correlacionado con la cantidad de ácido láctico producido (Lawrie, 1998; Fennema, 2000; Belitz y col., 1997). Según Hui y colaboradores (2006) se lleva una reducción del pH desde valores cercanos a 7 hasta 5.3 a 5.7, que depende del manejo, la especie y la raza.

A medida que las reservas de glucógeno del músculo van disminuyendo éste sufrirá cambios bioquímicos y estructurales que hacen que las fibras musculares pierdan su capacidad de contraerse y extenderse, presentando un acortamiento sarcomérico. Cuando se agotan las reservas musculares, la desaparición del ATP que mantiene la integridad estructural del músculo provoca una lenta despolarización de las membranas, produciéndose entonces un incremento en la fuerza iónica, en parte debido a la incapacidad de funcionamiento de las bombas de  $\text{Ca}^{2+}$ /ATP dependiente y  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ /ATP dependiente, lo que ocasiona la salida de  $\text{Ca}^{2+}$  del retículo sarcoplásmico al espacio miofibrilar, además de disminuir la capacidad celular de mantener las condiciones reductoras (Rubio, 2014). Estos iones  $\text{Ca}^{2+}$  reaccionan

con la troponina que modifica su configuración, desbloqueando los sitios activos de la actina a los que se unía. Al quedar estos sitios libres, las cabezas de miosina se unen a la actina formando el complejo actina-miosina, justo en los puntos ocupados antes por la troponina (Paniagua y col. 1996); y el músculo pasa a un estado de “rigor mortis”.

### **Fase *Rigor-mortis***

Posterior a la muerte se pierde el control nervioso, por lo que se observa la aparición de impulsos localizados que inician rápidos ciclos de contracción y relajación muscular, esta fase tiene inicio poco después de la muerte en donde el tejido muscular se encuentra en un estado de rigidez sostenida y es inextensible. Los procedimientos que conducen al establecimiento del *rigor mortis* son similares a los que ocurren durante la contracción muscular, sin embargo, la condición del *rigor* es irreversible como consecuencia del agotamiento de las reservas de ATP que evitan la ruptura de los puentes cruzados entre actina y miosina (Hui y col., 2006). Aunado a lo anterior, el glucógeno y las reservas de fosfato creatina disminuyen gradualmente debido a que es utilizado para la refosforilación de ADP a ATP. El ciclo de contracción-relajación se detiene debido a la falla en los mecanismos que sintetizan ATP, por lo que la elasticidad del músculo se pierde paulatinamente hasta llegar a un estado de contracción sostenida por la formación irreversible del complejo actomiosina (Fennema, 2000). Es en este momento, cuando el músculo alcanza su grado máximo de contracción y aparece la rigidez cadavérica o “*rigor-mortis*,” la carne presenta su punto de dureza máximo (Figura 3) y también alcanza el pH final, debido al agotamiento de los recursos energéticos.



**Figura 3.** Dureza de la carne a través de las fases de transformación de músculo a carne

Fuente: <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=5574>

El pH final alcanzado se denomina “pH final”, valor que tiene importante influencia en la calidad textural de la carne y su capacidad de retención de agua (Fennema, 2000); el pH final varía con la especie, la raza, el tipo de músculo y la temperatura de la canal. Una rápida acidificación, provoca la desnaturalización de las proteínas y la reducción de la capacidad de retención de agua (Olivan y col., 2013; Hui y col., 2006), por lo que la carne tendrá una apariencia pálida, suave y húmeda (PSE). El fenómeno contrario, en donde el pH no disminuye debido a una baja reserva de glucógeno, genera una carne oscura, firme y seca (DFD) con una elevada capacidad de retención de agua (Forrest y col., 1979; Hui y col., 2006).

### **Resolución del *rigor mortis***

La resolución del *rigor mortis* o maduración de la carne comprende una serie de cambios bioquímicos y estructurales que van transformando la estructura muscular y las características de la carne. Por efecto de los cambios degradativos *postmortem*, las propiedades de la membrana se ven alteradas y el tejido es susceptible a reacciones de degradación autolítica por acción de enzimas endógenas que debilitan la estructura de las miofibrillas, algunos autores mencionan que las enzimas que predominan en este proceso son las catepsinas, calpainas, calpastatinas, serín-proteasas, miosinasas y las enzimas exógenas (Hui y col., 2006; Fennema, 2000; Rubio, 2014; Larrea, 2003). El tejido muscular recupera gradualmente cierta elasticidad debido a la pérdida de la integridad del tejido, mejorando la textura y formando compuestos precursores del aroma a carne. El incremento en la suavidad se debe a la degradación de las proteínas como la tinina, nebulina, actina y miosina que tiene como consecuencia la pérdida de tensión y cambios en la estructura de las miofibrillas. Además del debilitamiento de la línea Z por fragmentación de la desmina debido a la liberación de fosfolípidos inducidos por la elevada liberación de iones  $\text{Ca}^{+2}$  (Hui y col., 2006).

## **1.2 Definición**

### **1.2.1 Carne**

La NOM-194-SSA1-2004 define a la carne como una estructura compuesta por fibra muscular estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo, grasa, fibras nerviosas,

vasos linfáticos y sanguíneos, proveniente de las especies animales autorizadas para el consumo humano.

La carne es la organización estructural más compleja de todos los alimentos y sus componentes estructurales influyen de manera significativa sobre su calidad; el estudio de la estructura muscular y sus componentes proteicos es importante para poder relacionar las propiedades del músculo y su empleo como carne.

Por su parte el *Codex Alimentarius* define a la carne como todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin, es decir, la carne debe cumplir con ciertas especificaciones establecidas en normas nacionales e internacionales de control de calidad con un elevado estándar sanitario que aseguran la obtención de productos inocuos para la población. La calidad de la carne obedece a diferentes factores que incluyen la raza, la especie, la edad, la localización anatómica, el sistema de producción, el tipo de sacrificio y procesamiento, entre otros, que afectan sus propiedades físicas, químicas y sanitarias. Se puede asumir que existe una relación entre los compuestos químicos (agua, proteínas, grasa, vitaminas y compuestos minerales) y sus propiedades físicas que proporcionan ciertas características a los productos cárnicos (dureza, gomosidad, masticabilidad, adhesividad, color, etc.) (Cheng y Sun, 2005).

### **1.2.2 Carne de conejo**

La carne de conejo es obtenida del mamífero herbívoro perteneciente a la familia de los lepóridos, del orden Lagomorpha el cual comprende al *Oryctolagus cuniculus* conocido como conejo doméstico (NMX-FF-105-SCFI-2005). Se utilizan diferentes razas de conejos según sus características productivas, lo que constituye su fin zootécnico. En México, la producción de carne de conejos se realiza con las siguientes razas: Nueva Zelanda Blanco, California, Chinchilla, Mariposa y animales criollos producto de cruzamientos en las granjas (Comité Nacional Sistema Producto Cunícola, 2009).

Para este proyecto se utilizó carne de la raza California ya que es el máximo exponente de aptitud cárnica, es de color blanco con hocico, orejas, patas y cola negros, es una raza fuerte,

rústica y precoz, posee un lomo compacto y carnoso, de escasa papada, ojos rosados, y de tamaño mediano (Comité Sistema Producto Cunicola del Distrito Federal, 2012).

### 1.3 Composición química de la carne de conejo

La composición química de la carne de conejo varía según distintos factores, tales como, raza, alimentación, edad, sexo y zona anatómica. El componente más abundante de la carne de conejo doméstico es el agua (69-73 %), seguido de las proteínas (18.5-21 %), incluyéndose en ellas las sustancias nitrogenadas no proteicas, también se compone de grasa (6.5-10.5 %), cenizas (1%) (Cuadro 1) y finalmente, la carne de conejo, como la del resto de los mamíferos, es una fuente pobre de carbohidratos, el contenido normal de glucógeno del músculo de los mamíferos oscila entre 0.5- 1 % en el animal vivo (Cobos, 2002); pero este componente desciende rápidamente tras un periodo corto de actividad muscular que acompaña la muerte del animal.

**Cuadro 1.** Composición química de la carne de conejo

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Agua</b>	69-73
<b>Proteínas</b>	18.5-21
<i>Proteínas miofibrilares:</i> actina, miosina, actomiosina, tropomiosina, troponina, proteína M y C, actinina, entre otras.	9.5
<i>Proteínas sarcoplásmicas:</i> Miógeno, mioglobina	6
<i>Proteínas del tejido conjuntivo:</i> colágeno, elastina, enzimas, queratinas, etc.	2
<b>Grasas</b>	6.5-10.5
Ácidos grasos esenciales, colesterol, fosfolípidos y vitaminas liposolubles.	
<b>Hidratos de carbono</b>	0.5- 1
Glucógeno	
<b>Minerales</b>	1

*Fuente:* Adaptado de: Restrepo y col., 2001; Cobos, 2002.

En el Cuadro 2 se presenta la composición química general de la carne de diferentes especies y varía con respecto a la raza, alimentación, sexo, edad y corte, además de, si la carne tiene o no piel. La carne de conejo en comparación con las demás especies, es la más alta en contenido proteico y con menor porcentaje de grasa y colesterol.

**Cuadro 2.** Comparación de la composición química de la carne de diferentes especies

Especie	Proteína (%)	Grasa (%)	Agua (%)	Colesterol (mg/100g)	Energía (kcal/100g)
<b>Ternera</b>	14-20	8-9	74	70-80	170
<b>Bovino</b>	19-21	10-19	71	90-100	250
<b>Cerdo</b>	12-16	30-35	52	70-105	290
<b>Cordero</b>	11-16	20-25	63	75-77	250
<b>Conejo</b>	19-25	3-8	79	25-50	160-200
<b>Pollo</b>	12-13	9-10	67	81-100	150-160
<b>Pavo (pechuga)</b>	22	4.9	70	50	134

*Fuente:* Adaptado de: Camps, 1996; Perea, 2008; Pérez, 2010 y Molina 2013.

#### 1.4 Valor nutrimental de la carne de conejo

La carne se considera, un alimento altamente proteico. Del contenido total de nitrógeno del músculo, aproximadamente el 95 % es proteína y el 5 % pequeños péptidos, aminoácidos y otros compuestos. De los aminoácidos esenciales, la carne aporta cantidades sustanciales de lisina y treonina y cantidades adecuadas de metionina y triptófano (Varnam y col., 1998).

Hoy en día, la carne es un alimento que forma parte del plato del buen comer. Aporta principalmente macronutrientes como las proteínas de alto valor nutrimental y vitaminas, en especial del grupo B, tiamina (B1), niacina (B3), riboflavina (B2), piridoxina (B6) y cianocobalamina (B12), además de vitamina A. La carne contiene algunos nutrientes inorgánicos como hierro, cobre, zinc, selenio entre otros minerales (Muñoz y col., 2002).

Principalmente la carne de conejo es de las carnes más saludables que se puede consumir, pues aporta vitaminas del grupo B y K, minerales y proteínas de buena calidad, además se considera como una carne magra ya que se caracteriza por su bajo contenido en grasa (Figura 4) menor que el contenido presente en otras especies como el porcino, vacuno y ovino, pero tiene suficiente aporte de ácidos insaturados esenciales para el ser humano, tales como el oleico, linoleico y linoleico (FAO, 2002).



**Figura 4.** Canal de conejo

*Fuente:* Dorado, 2011.

El lomo es la parte más magra de la canal, mientras que la carne de la pierna presenta un contenido de grasa algo superior, aunque sigue siendo una carne magra. En seguida se presenta el Cuadro 3 con información sobre los nutrimentos que la carne de conejo aporta por cada 100g de porción comestible, cabe señalar que la composición varía de acuerdo con la edad del animal, la alimentación, el peso y cortes de la canal.

**Cuadro 3.** Composición por 100 gramos de porción comestible

	<b>Agua</b> (%)	<b>Minerales</b> (%)	<b>Grasas</b> (%)	<b>Proteínas</b> (%)	<b>Ácidos grasos saturados</b> (%)	<b>Mono insaturados</b> (%)	<b>Polinsaturados</b> (%)
<b>Conejo</b>	66-59	10-12	3.4	20.4	2	1.5	2

*Fuente:* Adaptado de: Camps, 1996; FAO, 2002.



## **1.5 Productos cárnicos cocidos**

La NOM-213-SSA1-2002 define a los productos cárnicos como los elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no, que son sometidos a proceso térmico. Pueden presentarse enteros, en cortes, emulsionados o troceados.

### **1.5.1 Denominación comercial de jamón**

#### **1.5.1.1 Jamón o jamón de pierna**

El jamón cocido es denominado como al producto alimenticio, elaborado exclusivamente con la carne de las piernas traseras del cerdo *Suis scrofa domesticus*, declarados aptos para el consumo humano por la autoridad responsable, de acuerdo con los criterios y especificaciones generales que se establecen en el cuerpo de la NOM-158-SCFI-2003.

El jamón se puede considerar como un sistema multifase, higroscópico y poroso capilar, con estructuras vacías definidas (Cheng y Sun, 2005) que regulan el transporte de masa durante el tratamiento térmico; por tal motivo, su calidad se ve influida por distintos factores como son la tecnología empleada en su elaboración, el tipo de corte de carne, la formulación, la velocidad de masajeo, el tiempo y temperatura de cocción, entre otros. Tales factores determinan las propiedades físicas que caracterizan a un jamón cocido.

#### **1.5.1.2 Jamón de carne de conejo**

Dentro de la normatividad mexicana no existe una denominación para jamón elaborado con carne de conejo, sin embargo, en estudios realizados por Pérez (2010), Rodríguez y Sampredo (2011), en los cuales se utilizó carne de esta especie para la elaboración de jamón cocido; lo definieron como un producto alimenticio elaborado con carne de los cuartos traseros y lomos de la canal de conejo.

## 1.5.2 Clasificación comercial de jamón de carne de conejo

En el Cuadro 4 se muestra la clasificación comercial establecida por la NOM-158-SCFI-2003, que depende principalmente del porcentaje libre de grasa contenido en el jamón, de la proteína adicionada como puede ser alguna proteína vegetal, también depende del porcentaje de carragenina y fécula que hayan sido empleadas en la elaboración de jamón. Cabe señalar que el jamón cocido de carne de conejo entra en la clasificación comercial, como un jamón fino, ya que a la formulación se le adicionó proteína de soya y una mezcla de hidrocoloides (carragenina kappa y goma de algarrobo) a una concentración menor del 1%.

**Cuadro 4.** Clasificación comercial del Jamón

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

*Nota.-* \*Proteína libre de grasa, incluyendo en su caso la proteína adicionada

*Fuente:* NOM-158-SCFI-2003.

## 1.6 Funcionalidad de los ingredientes del jamón cocido de carne de conejo

### 1.6.1 Ingredientes cárnicos

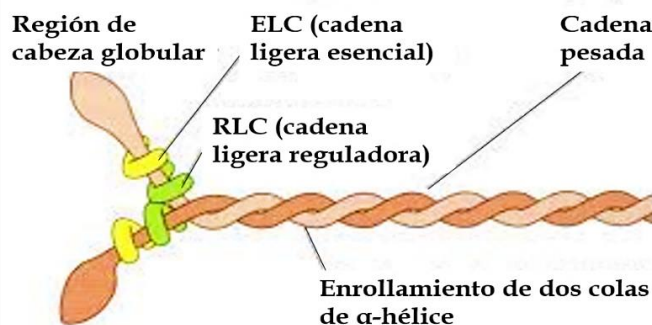
La carne es la materia prima principal para llevar a cabo la elaboración del jamón cocido ya que está compuesta por las proteínas miofibrilares, que mediante procesos químicos (adición de sales) y tratamiento térmico son solubilizadas; éstas pueden sufrir procesos de desnaturalización parcial y reorganización que darán lugar a un gel proteico (Ventanas y col., 2001). Cabe mencionar que a un porcentaje mayor de carne existen más interacciones entre las proteínas cárnicas y el medio (salmuera), como resultado se obtiene un gel más estable.

## Proteínas miofibrilares

Las proteínas cárnicas que tienen importancia funcional, son principalmente las del complejo contráctil, en las que se encuentran la miosina, actina y actomiosina, las cuales son llamadas proteínas miofibrilares, como se mencionó anteriormente son constituyentes de las miofibrillas o células musculares y representan el 50 % del total de proteínas de la carne; son solubles en soluciones salinas concentradas y sus principales constituyentes son actina y miosina (Badui, 2006). La miosina constituye aproximadamente el 50-60% del complejo y la actina representa otro 15-30% (Fennema, 2000); estas proteínas junto con la actomiosina son importantes para mantener las propiedades de cohesión de la carne para la elaboración de productos cárnicos.

- **Miosina**

La miosina representa un porcentaje alto en proteínas miofibrilares, el 55% de la cadena polipeptídica presenta una estructura  $\alpha$ -helicoidal (Figura 5), integrada por dos cadenas fibrosas rígidas semejantes enrolladas entre sí, que terminan en una doble cabeza constituida a su vez por cuatro cadenas polipeptídicas (Badui, 2006). Su parte cilíndrica tiene una longitud de unos 120 nm y un diámetro de 1.5 nm, su “cabeza” mide 15 nm de longitud y 4.5 nm de diámetro (Cheftel, 1989). La miosina presenta la propiedad de interactuar con la actina y así formar actomiosina; la miosina es activada por iones de calcio e inhibida por iones de magnesio.

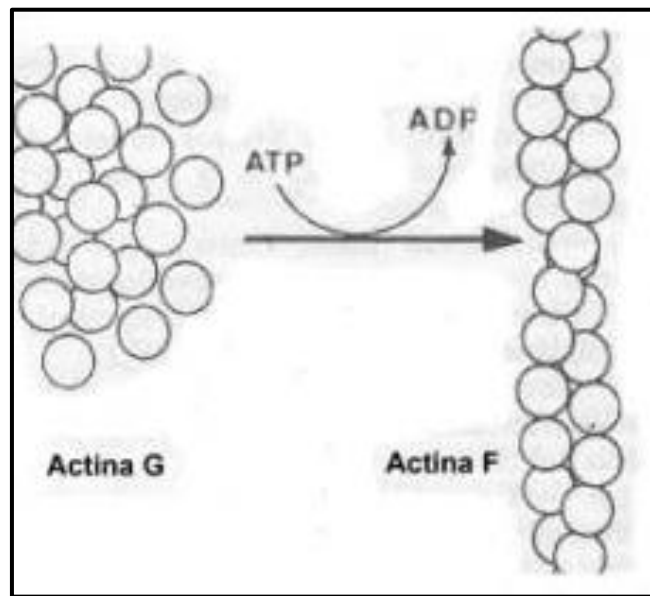


**Figura 5.** Estructura de la miosina

*Fuente:* <https://materianeurocienciasi.files.wordpress.com/2014/01/pdf-contraccion-muscular.pdf>.

- **Actina**

La actina en su forma monómera contiene una sola cadena polipeptídica de estructura terciaria globular (G- actina), contiene 450 aminoácidos, su peso molecular es de 46 000 daltones. La molécula de G- actina tienen una molécula de ATP y un ion de calcio que en condiciones determinadas se polimeriza en F-actina (Figura 6) y se combina con la miosina para formar actomiosina (Cheftel, 1989) proteína que está relacionada con el fenómeno de contracción y relajación muscular.



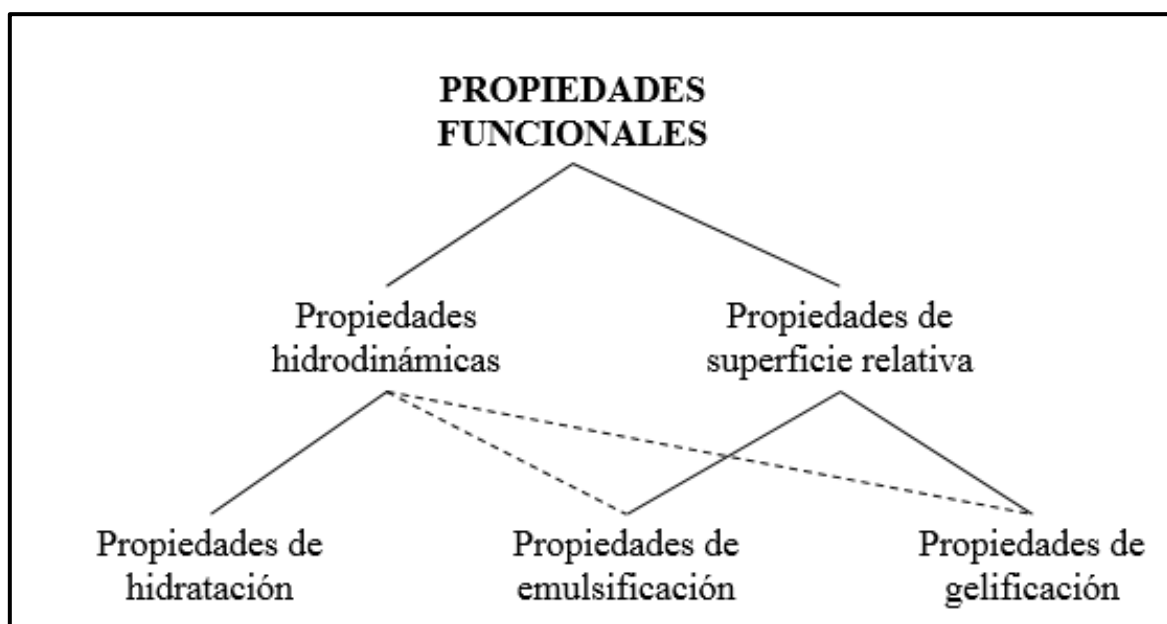
**Figura 6.** Estructura de la actina

*Fuente:* <http://www.botanica.cnba.uba.ar/>.

#### **1.6.1.1.1 Propiedades funcionales de las proteínas cárnicas**

Las propiedades funcionales están directamente relacionadas con la estabilidad del sistema debido a diferentes interacciones como son: proteína-agua, lípido-proteína y proteína-proteína. Estas interacciones influyen en la capacidad de retención de agua, la absorción de grasa, así como con las propiedades de gelificación (Figura 7). La funcionalidad de las proteínas es dependiente de las propiedades hidrodinámicas y de las de superficie relativa, es decir, las primeras se refieren a la forma como afectan las condiciones del ambiente a la

forma y flexibilidad de las cadenas de proteína (Hui y col., 2006). En cuanto a las propiedades de superficie se encuentran las características topográficas de la molécula proteica, esto es, áreas de contacto con el solvente que determinan la hidrofobicidad superficial.



**Figura 7.** Principales propiedades funcionales de las proteínas cárnicas

Fuente: Hui y col., 2006.

Las propiedades funcionales dependen de las características de las moléculas de las proteínas y de las condiciones del proceso de elaboración de productos cárnicos, por ende, esto se verá reflejado en las características finales del producto. En el Cuadro 5 se muestran las propiedades funcionales de las proteínas de la carne.

**Cuadro 5.** Propiedades funcionales de las proteínas cárnicas

Propiedad general	Propiedad funcional	Modo de acción
Hidratación	Unión y adsorción de agua	El agua se asocia con la superficie de las proteínas por interacciones dipolo-dipolo y por puentes de hidrógeno
	Solubilidad	Solvatación. Ésta depende de los puentes de hidrogeno formados, debido a diferencias entre los aminoácidos polares y no polares, el pH, la fuerza iónica y la temperatura.
	Viscosidad	Inmovilización de agua
	Hinchamiento	Engrosamiento de la miofibrilla, atrapamiento de agua vía formación de una matriz proteica
	Gelificación	Formación de una red tridimensional sólida entrecruzada de moléculas proteicas que atrapan a un solvente acuoso; se compone principalmente de agua inmovilizada dentro de una matriz proteica.
Estructural	Cohesión-adhesión	Proteína solubilizada que actúa como material adhesivo
	Elasticidad	Formación de una matriz proteica vía interacciones electrostáticas, disulfuro e hidrofobicas en el gel
Unión	Absorción de grasa	Unión de grasa libre
	Unión de sabores	Adsorción, atrapamiento y liberación de sabores
Superficie	Emulsificación	Formación y estabilización de emulsiones

*Fuente:* Adaptado de: Hui y col., 2006; Cheftel, 1989

## **1.6.2 Ingredientes no cárnicos**

Dentro de los ingredientes no cárnicos se encuentran principalmente el agua, la sal común, los fosfatos, la sal de cura y el ácido ascórbico e hidrocoloides (carragenina kappa y goma de algarrobo) los cuales tienen una función específica en el desarrollo del jamón, brindando así las características deseadas del producto final.

### **1.6.2.1 Agua**

El agua es el disolvente universal y una gran cantidad de compuestos pueden disolverse en ella, esta propiedad, se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno. La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno por medio de dos enlaces covalentes, aunque tiene una carga total neutra, presenta una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una molécula polar. Por ello se dan interacciones dipolo-dipolo entre las propias moléculas de agua, formándose enlaces por puentes de hidrógeno; aunque son uniones débiles permite que se forme en el agua una estructura reticular responsable de sus propiedades fisicoquímicas (Mendoza, 2010).

El agua añadida tiene gran importancia pues es el disolvente en donde se adicionarán los ingredientes secos para la obtención de la salmuera y también funciona para solubilizar a las proteínas de la carne. Por otra parte, el agua debe ser desionizada (libre de iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y metales pesados) ya que a una concentración alta de iones puede afectar negativamente la capacidad de retención de agua del producto final y por ende el rendimiento de los productos cárnicos.

### **1.6.2.2 Sal común**

La sal contribuye en las características funcionales de la carne, una de las funciones más importantes de la sal es combinarse con el agua para formar una salmuera cuya concentración determinará el grado de extracción de la proteína de la carne. La concentración de sal presente en la salmuera, tiene una gran influencia en la retención de agua pues los iones de sodio y cloro se unen a los grupos cargados de las proteínas debilitando las interacciones entre fibras, lo que permite que capte agua debido a que hay menos interacciones proteína-proteína y más interacciones proteína agua (Hui y col., 2006), a esta capacidad de los iones de unirse

electrostáticamente con grupos cargados de la proteína o entre moléculas de proteína se le conoce como solubilización, es por eso que la cantidad de sal debe ser ajustada para optimizar la solubilidad de las proteínas. Otras de las funciones de la sal son su contribución al sabor y de acuerdo con Gerhardt (1980) también impide el crecimiento bacteriano o por lo menos limita su proliferación considerablemente ya que reduce la  $a_w$  (fracción de agua libre a disposición de los microorganismos), de esta manera, se prolonga la conservación del alimento. El efecto conservador de la sal se encuentra condicionado por la concentración de sal añadida al producto, pues se requieren concentraciones muy altas en medios de cultivo (en torno al 10% en peso) para inhibir el crecimiento microbiológico. En la práctica, las concentraciones de cloruro sódico presentes en los productos cárnicos curados, específicamente en jamón no llegan a niveles del 10% por lo que no serían suficientes para ejercer un efecto bacteriostático por sí solo que permita la conservación del producto y, por tanto, se hace necesario el uso paralelo de otros conservantes como los nitratos y los nitritos que controlen el crecimiento microbiano (Toldrá, 2002; Armenteros, 2010).

### **1.6.2.3 Fosfatos**

Los fosfatos cumplen en el jamón cocido básicamente dos funciones, por un lado, aumentan la capacidad de retención de agua y por el otro favorecen la solubilización y extracción de proteínas miofibrilares. La función de los fosfatos es elevar el valor de pH del sistema de un valor aproximadamente de 5.5 (dependiendo en gran medida del tipo de músculo, especie y condiciones *post mortem* de la carne) a cerca de 6.5 (Totosaus, 2007), fuera del punto isoeléctrico, de manera que predominen las cargas negativas de la proteína y se favorezca la repulsión electrostática. Las proteínas en su forma nativa contienen cadenas polipeptídicas que se encuentran unidas en sus estructuras terciaria y cuaternaria por enlaces electrostáticos, puentes de hidrógeno, puentes disulfuro y puentes formados por cationes divalentes, especialmente calcio y magnesio (Llorenç, 2011), por lo tanto al adicionar fosfatos alcalinos en la elaboración de jamón cocido estos tienen la funcionalidad de secuestrar los iones de calcio y magnesio con el fin de conseguir la mayor ruptura de enlaces para expandir a la proteína y favorecer las interacciones de proteína-agua aumentando la capacidad de retención de agua de la carne (Andújar y col., 2003).



#### 1.6.2.4 Sal cura

La sal cura o sal de curado es una combinación de sal común y nitratos, nitritos o ambos, utilizada en la curación de carnes y embutidos para prolongar su conservación. Las funcionalidades que desempeñan los nitritos en el curado de la carne son: desarrollo de un color característico rosa estable, un sabor típico (que puede estar directa o indirectamente relacionado al retardo de la oxidación y rancidez), una textura única que la hace diferente al de la carne fresca e inhibe el crecimiento de microorganismos anaerobios alterantes y potencialmente patógenos como la *Clostridium botulinum* (Bazan, 2008). Entre sus funciones, los nitritos desarrollan el color estable y característico del jamón, como consecuencia de la formación del pigmento nitrosomioglobina, a partir de la siguiente reacción (Ventanas, 2001):

1. El nitrato es reducido a nitrito por microorganismos.
2. Reacción del nitrito con agentes reductores (por ejemplo: ascorbato añadido), reduciendo a óxido nítrico (NO).
3. Paralelamente la mioglobina (Mb) se oxida a metamioglobina (MetMb) por acción del nitrito.
4. Reacción con el óxido nítrico con la MetMb para formar nitrosometamioglobina (NO MetMb)
5. Reducción a nitrosomioglobina (NOMb).

#### 1.6.2.5 Ácido Ascórbico

El ácido ascórbico tiene básicamente tres funciones en la elaboración de jamón, las cuales derivan de su comportamiento químico como potente reductor (Llorenç, 2011; Ranken, 2003). En primer lugar, destaca su capacidad reductora frente al nitrito, pues este reduce el nitrito a óxido nítrico facilitando la formación de nitrosomioglobina y, por tanto, acelerando la formación del color rosado. Sin la presencia de ascorbato, esta reacción se produciría de la misma forma, por acción de los reductores naturales presentes en la carne, pero exigiría tiempos mucho más largos y cantidades de nitrito muy superiores, para obtener un color satisfactorio. En segundo lugar, contribuye a la estabilidad del color en el producto terminado, debido a sus propiedades reductoras (efecto antioxidante), que inhiben la formación de radicales peróxido en la superficie, por acción de la luz ultravioleta y el oxígeno

del aire. Por último, contribuye también a evitar la formación de las ya mencionadas nitrosaminas cancerígenas, bloqueando la formación de agentes nitrosantes ( $N_2O_3$ ) a partir del óxido nítrico.

#### **1.6.2.6 Hidrocoloides**

El nombre de hidrocoloides engloba a sustancias naturales poliméricas solubles o dispersables en agua. Por esta razón se les puede considerar como fibras solubles. Generalmente el término hidrocoloide se aplica a sustancias de composición polisacárida. Como característica principal y común se puede destacar que son moléculas altamente hidrofílicas que actúan sobre el agua que se encuentra libre en el medio donde se aplican, llegando a reducir su inmovilidad y aumentando así la viscosidad. En este sentido la estructura del polímero (lineal o ramificado) es de gran importancia ya que de ella depende la capacidad de retención de agua (volumen de agua que pueden llegar a incorporar) y, por tanto, las características reológicas y de textura que impartirá al producto acabado (Cubero y col., 2002).

##### **1.6.2.6.1 Carragenina**

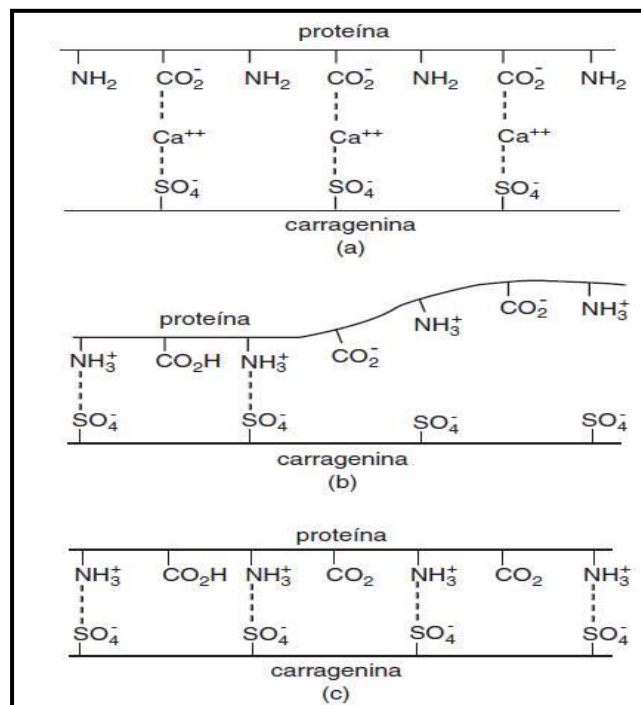
La carragenina es un polisacárido sulfatado lineal y se origina a partir de algas rojas pertenecientes a la clase *Rhodophyceae*. Su estructura química está conformada por unidades de D-Galactosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha(1,3)$  y  $\beta(1,4)$ , alternadamente; se diferencian entre ellas por la concentración de los azúcares anhidros 3,6-anhidro-D-galactosa que contengan, y por la posición en que se encuentren los grupos sulfato, además por la cantidad de estos últimos en la molécula D-galactosa (Badui, 2006). Contiene un grupo sulfato en la molécula y forma un gel frágil y la fuerza del gel se obtiene por la presencia de Iones potasio ( $K^+$ ). El gel es estable a un valor de pH superior a 4.2. Los efectos sinérgicos pueden ser alcanzados mediante la mezcla de  $\kappa$ -carragenina con la goma de algarrobo ya que este último actúa como estabilizante en la formación del sistema.

- **Interacción de carragenina-proteína**

El mecanismo para la gelificación de la carragenina kappa involucra la interacción de moléculas individuales unas con otras para formar dobles hélices. En presencia de ciertos

cationes tales como potasio, estas hélices pueden interactuar para formar agregados con características de gelificación aumentadas (Totosaus, 2007).

Debido a que los grupos sulfatos de las carrageninas se orientan al exterior de la cadena de galactosas, tienen la capacidad de reaccionar con polipéptidos. Las interacciones entre las moléculas de la carragenina y las de las proteínas dentro del sistema cárnico tienen poca influencia sobre las características del producto terminado y pueden involucrar dos posibles mecanismos. Las moléculas de carragenina pueden interactuar con grupos cargados negativamente en la superficie proteínica a través de puentes de cationes o pueden interactuar directamente con grupos cargados positivamente sobre la superficie proteínica (Badui, 2006), la interacción depende de la carga neta del complejo y, por lo tanto, ésta en función del punto isoeléctrico de la proteína (Figura 8). Hui y colaboradores (2006) mencionan que el punto isoeléctrico de la miosina es de aproximadamente 5.4 y la actina tiene un valor de 4.7. Ciertamente todos, el pH, los iones específicos y las proteínas presentes en el sistema presentan un papel en las dinámicas de las interacciones carragenina-proteína.



**Figura 8.** Interacción de la carragenina con las proteínas: a) por encima del punto isoeléctrico, b) en el punto isoeléctrico y c) por debajo del punto isoeléctrico

*Fuente:* Badui, 2006

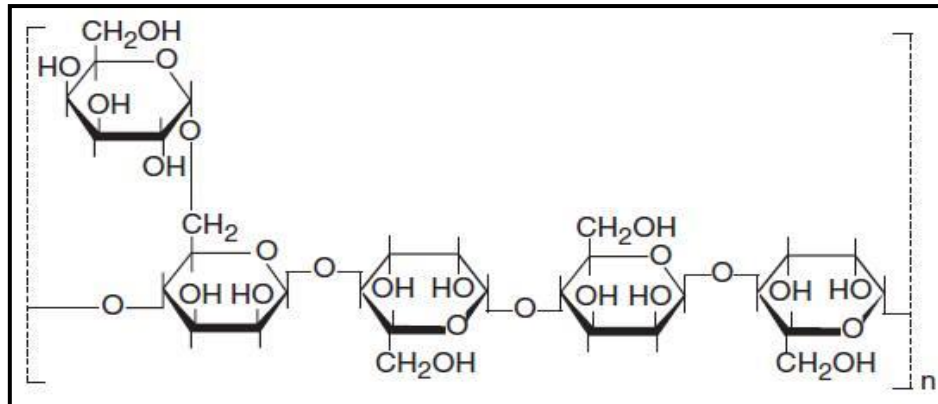
#### 1.6.2.6.2 Goma de algarrobo

Proviene de la semilla de *Ceratonia siliqua* de la familia de las leguminosas, su estructura química corresponde a una galactomanana formada por una cadena de moléculas de D-manosa unidas  $\beta(1,4)$ , a la cual se unen varias ramas de D-galactosas a través de enlaces  $\alpha(1,6)$ ; la relación de D-manosas con D-galactosas es de 9:1 (Badui, 2006). Una cadena lateral de la galactosa está ligada en todas las moléculas de la cadena lineal de manosa. Las soluciones de esta goma son estables en un intervalo de pH de 3 a 10. La goma de algarrobo es totalmente soluble a una temperatura de 80 °C. Sus soluciones son pseudoplásticas, y el grado de pseudoplasticidad aumenta según su concentración, la goma de algarrobo forma sol y gelifica con borato sódico, pero cabe mencionar que estos geles no son comestibles. Se utiliza para dar estabilidad a geles que forma la carragenina kappa retardando la sinéresis (Walker, 1984).

- **Interacción de la goma de algarrobo con la carragenina**

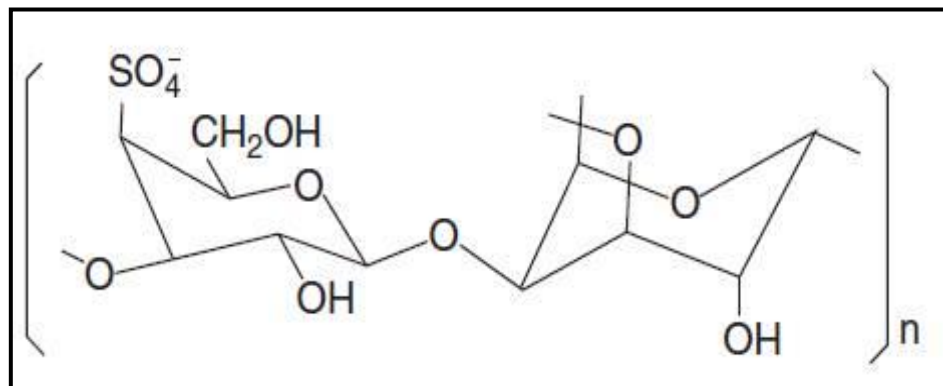
La existencia de interacciones entre las carrageninas y la goma de algarrobo se ha aprovechado para dar estabilidad a los sistemas cárnicos. Los geles obtenidos tienen características modificadas por la presencia de goma de algarrobo; es posible obtener un gel con una mezcla  $\kappa$ -carragenina-galactomanano a una concentración menor en carrageninas, inferior a la concentración en que gelifican solas.

La naturaleza de las interacciones que se establecen entre las carrageninas y los galactomananos se explica por la existencia de zonas exentas de galactosa a lo largo de la cadena de manano (Figura 9 y 10). Estas zonas “lisas” pueden asociarse, gracias a los enlaces hidrógeno, a las dobles hélices de las carrageninas. Cada macromolécula de galactomanano participa así en un gel tridimensional y reforzando su cohesión. Esta sinergia es más marcada con las k-carrageninas que con la i-carrageninas por el hecho de la ausencia de grupos cargados (Montiel, 2001).



**Figura 9.** Estructura química de la goma de algarrobo

*Fuente:* Badui, 2006.



**Figura 10.** Estructura química de la carragenina

*Fuente:* Badui, 2006.

### 1.7 Principales etapas del proceso de elaboración del jamón cocido de conejo

Existen diferentes etapas de proceso en la elaboración de los jamones cocidos que depende de la tecnología empleada, así como de las características que se desee lograr en el producto final. En seguida se describen algunas de las principales etapas para la elaboración de jamón cocido.

### **1.7.1 Molienda**

El objetivo primordial de esta operación es el de disminuir el diámetro de partícula de la materia prima cárnica para aumentar la superficie de extracción de proteínas musculares (miofibrilares). Este efecto contribuirá a la disminución de mermas por cocción. El equipo de molienda más utilizado es el molino con gusano helicoidal.

Es importante el control de la temperatura en esta operación, misma que no deberá sobrepasar los 4°C ya que las temperaturas óptimas para la extracción de las proteínas contraíbles están entre los 4 y 7 °C (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2000). Otras de las variables que se deben controlar durante la operación son, el tiempo de molienda y el diámetro de partícula final que depende de las características finales del producto deseado.

### **1.7.2 Curado de la carne**

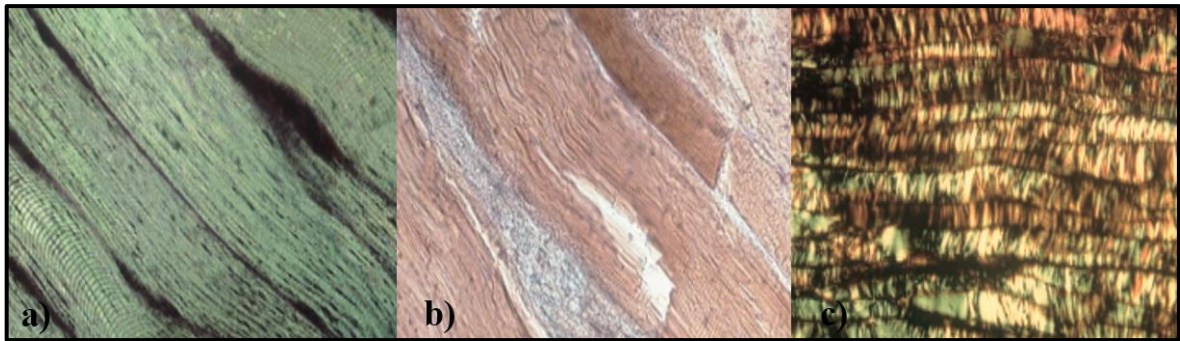
El curado de la carne se define como la adición de sal y otras sustancias con el fin de preservarla. Originalmente sólo se agregaba sal, pero a medida que esta tecnología se desarrolló comenzaron a añadirse otras sustancias como azúcar, especias, nitrito y nitrato de sodio. En general, la mezcla de sales se puede añadir a la carne en forma seca (frotándola sobre la superficie de la carne que se va a curar) o en forma de solución (y posteriormente masajando o golpeando a la carne) (Guerrero y col., 1998). El curado por inmersión en salmuera o curado húmedo consiste en utilizar el agua como vector de las sustancias curantes, sumergiendo las carnes en una salmuera hasta que alcance un equilibrio entre la fase líquida y la masa de carne. Las ventajas del curado en húmedo incluyen una completa disolución de los ingredientes solubles, dando una distribución uniforme y una reducción del tiempo de curado (Paltrinien y col. 2002; Price y Schweigert, 1994)

### **1.7.3 Masajeo**

El masajeo consiste en un suave frotamiento de una superficie de la carne con otra. La energía cinética (en forma de golpeo) que se produce es responsable de los cambios estructurales que ocurren en el tejido del músculo pues se dañan las fibrillas del músculo, éstas se dividen

o desintegran liberando actina y miosina. Este tratamiento mecánico favorece la extracción y solubilización de las proteínas, ya que son activadas en los espacios intercelulares y en la superficie para la fijación de agua favoreciendo la distribución y absorción de la salmuera.

Según Theno y colaboradores (1978) después de 24 horas de masajeo y de la degradación de la estructura muscular, la integridad de las miofibrillas comienza a separarse aumentando la superficie de contacto entre componentes de la carne, sal y fosfatos. En la Figura 11 se observan las roturas entre las miofibrillas a largo del tratamiento mecánico.



**Figura 11.** a) Miofibrillas de la carne fresca, b) miofibrillas durante el masajeo de carne con salmuera y c) miofibrillas después de 24 horas de masajeo

*Fuente:* Xargayó, 2010.

El efecto mecánico que produce el masaje tiende a aumentar la temperatura de la carne y aunque la eficacia del masaje se incrementa con la temperatura, al mismo tiempo existe el riesgo de contaminación bacteriana. La temperatura ideal de trabajo se encuentra entre 4 y 8 °C (Xargayó, 2010; Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 2000).

#### **1.7.4 Embutido**

La masa cárnica obtenida del masajeo debe colocarse dentro de recipientes que confieran al producto cocido una forma determinada. Son varios los tipos de recipientes que se pueden utilizar, entre ellos están las fundas naturales o artificiales. Es importante tener en cuenta el tipo de funda a utilizar ya que cada una tiene propiedades físicas (permeabilidad, la

elasticidad y la resistencia del material al tratamiento térmico) y características de manejo definidas (Restrepo y col., 2001).

Las fundas artificiales son las más utilizadas por la industria cárnica, dentro de las cuales se encuentran las fundas de celulosa, a base de colágeno, y fundas de cocimiento directo.

Las fundas de cocimiento directo presentan la ventaja de que en la misma bolsa que se cocina, se vende el producto, evitando la recontaminación microbiana. Para ello se utilizan fundas termoencogibles en jamones populares y económicos, se utilizan calibres 7 ½ y 8 pulgadas de ancho plano; para jamones en forma de mandolina, ovalados y/o rectangulares se usan calibres de 8, 9 y/o 12 pulgadas de ancho plano (Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 2000) (Figura 12).



**Figura 12.** Fundas de diferente tamaño y forma para embutir jamones

*Fuente:* Llorenç, 2010.

Las variables de proceso a controlar son, la temperatura de la pasta; el diámetro, el perímetro y el largo de la pieza; el peso; las burbujas de aire en el producto embutido y el vacío de los equipos utilizados para embutir.

### **1.7.5 Tratamiento térmico (cocción)**

El tratamiento térmico es el método que más se emplea en la conservación de la carne, ya que tiene como objetivo asegurar la destrucción de los microorganismos presentes y la



inactivación de enzimas con el fin de evitar reacciones de deterioro (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2000). La cocción tiene como finalidad impartir al embutido una consistencia firme debido a la coagulación de las proteínas. Las proteínas miofibrilares solubilizadas por el efecto conjunto de determinados ingredientes (fosfatos y sal) y del proceso de masaje, sufren una desnaturalización por el efecto del calor que conlleva una disminución de los espacios intercelulares, una compactación de las fibras desnaturalizadas y la formación de una red tridimensional capaz de retener agua, confiriendo consistencia y cohesión al producto cárnico (Lagares, 2010). Las proteínas se desnaturalizan a temperaturas por arriba de entre 60°C y 70 °C (Hui y col., 2006; Badui, 2006).

Además, durante la cocción se fija el color del producto cárnico por la desnaturalización de la mioglobina dando lugar a la formación del nitrosilhemocromo (Ranken, 2003), así como de alcanzar la máxima hidratación de los polisacáridos para que realicen su función como gelificante y estabilizante en el jamón.

Es importante mencionar que durante la cocción interviene la transferencia de calor y la transferencia de masa que tienen consecuencia sobre las propiedades y calidad del producto.

- La transferencia de calor en la cocción por inmersión, concierne a la convección debido al movimiento del agua cuando se eleva la temperatura del medio, no obstante, el jamón puede considerarse, en una primera aproximación, como un sólido, y por ello la transferencia de calor a tener en cuenta es la conducción.
- La transferencia de masa concierne, de una parte, a la migración de los componentes de la carne y de los productos cárnicos, que se interpretan por pérdidas a la cocción y por otra a la funcionalidad de aditivos como es la sal (disminución del punto isoeléctrico de la carne por fijación de sal en las cadenas proteicas (Daudin y col., 1991)).

### **1.7.6 Enfriamiento**

Una vez que el jamón haya alcanzado su temperatura interna, se debe enfriar inmediatamente en ducha fría o por inmersión en agua en un corto periodo de tiempo (choque térmico), para que esté fuera de la zona de peligro microbiológico (Gil, 2013). Seguidamente, el jamón requiere un tiempo mínimo de permanencia en refrigeración a 4 °C por 24 horas, para

asegurar que el color y otras propiedades organolépticas del producto cárnico cocido se hayan estabilizado (Lagares, 2010).

## **1.8 Métodos de evaluación del sistema cárnico**

Para la evaluación del sistema cárnico (gel proteico), se emplean métodos que midan algunas de las propiedades físicas y fisicoquímicas del jamón, que están directamente relacionadas con la firmeza y estabilidad del sistema, actualmente se emplean métodos empíricos para la evaluación de la firmeza, resistencia a la rotura o la adhesión del gel (Cheftel,1989), ya que intentan simular, de cierta manera, las fuerzas y deformación a las que se ve sometido el producto cárnico durante la masticación. En cuanto a la evaluación de la estabilidad se emplean métodos que permitan medir la cantidad de agua englobada en el gel durante su formación, o bien la pérdida de agua que surge cuando se somete el gel a una compresión o centrifugación moderada (Hermansson, 1982; Cheftel,1989).

### **1.8.1 Firmeza del jamón cocido**

La firmeza es una de las propiedades físicas más importantes de la carne y de los productos cárnicos, está relacionada con la interacción de las proteínas miofibrilares y los ingredientes funcionales con el agua. Para determinar las principales propiedades físicas del sistema cárnico pueden utilizarse diversos métodos instrumentales, como pueden ser los mecánicos (corte, compresión, penetración, etc.) y los métodos sensoriales (Braña y col., 2011), también es importante señalar que se pueden realizar pruebas empíricas de penetración y corte para valorar la firmeza de producto cárnico.

#### **1.8.1.1 Rebanabilidad (resistencia al corte)**

La rebanabilidad es la capacidad (Giunee y Kilcawley, 2004), que tiene un producto cárnico para poder ser cortado limpiamente en rebanadas delgadas (lonchas), también para resistir la rotura, pegado o fractura en los bordes de corte, además de someterse a un alto nivel de flexión antes de romperse.

La rebanabilidad depende principalmente de dos factores: la cohesión entre los músculos y la firmeza del músculo:

- **Cohesión de los músculos**

La cohesión de los músculos tiene lugar gracias a las proteínas miofibrilares que se han extraído durante el proceso de elaboración y que se hallan en la superficie del músculo. Estas proteínas forman una red tridimensional por su capacidad de gelificación. Está ampliamente demostrado en la literatura que, a más cantidad de proteínas extraídas, mejor estabilidad del jamón y por tanto mejor rebanabilidad (Xargayó y col., 2007).

Según Guerreiro y colaboradores (1998) existen algunos factores que influyen en la cohesividad y, en consecuencia, en la capacidad de retención de agua:

**Tamaño de partícula:** La reducción de tamaño rompe una gran cantidad de células musculares, liberando el contenido intracelular, de esta forma aumenta la disponibilidad de las proteínas miofibrilares para formar puentes de hidrogeno, así como uniones iónicas, cuando son solubilizadas en soluciones salinas.

**Temperatura:** La cohesión es un proceso iniciado por un aumento en la temperatura. En el intervalo de temperatura interna de 35 a 82 °C, se observa un aumento considerable en la cohesión.

**Grasa:** Al aumentar el contenido de grasa disminuye la fuerza de cohesión

**Aditivos:** Debido a que las proteínas miofibrilares son las responsables de la cohesividad, al aumentar el NaCl añadido al sistema, aumenta la cohesividad.

- **Firmeza del músculo**

La integridad física del gel proteico está determinada por las fuerzas balanceadas de atracción y repulsión entre las moléculas de los polímeros. El mecanismo de gelificación está dado por

el balance entre fuerzas gobernantes de las interacciones cadena-cadena (o proteína-proteína) y cadena-solvente (o proteína-solvente. Se cree que las interacciones electrostáticas se comportan como fuerzas repulsivas durante el proceso de agregación. Ya que la carga neta al punto isoeléctrico es cero, la proteína forma fácilmente un coágulo como resultado de la rápida agregación al azar de valores cercanos al punto isoeléctrico; a pH extremos las fuerzas repulsivas electrostáticas y las fuerzas de atracción (principalmente interacciones hidrofóbicas) están balanceadas para formar la red de gel (Hui y col, 2006).

La calidad de la carne suele determinarse según sea la incidencia de carne PSE o DFD e incide directamente en el rendimiento, debido a que la falta de funcionalidad de las proteínas da lugar a una textura blanda de las fibras musculares que presentan menor resistencia a las cuchillas, produciéndose roturas en las rebanadas de jamón (Xargayó y col., 2007).

#### **1.8.1.2 Resistencia a la deformación**

Actualmente se considera que la textura de la carne es de las propiedades más importantes de la calidad sensorial. La sensación de textura se debe en primer lugar a la facilidad con que los dientes penetran la carne. La propiedad de textura de la carne, se les atribuye a las proteínas miofibrilares (actina, miosina) y que depende del tamaño de los haces de las fibras de los músculos (Lawrie, 1998). Uno de los métodos más ampliamente utilizados para evaluar la textura de los alimentos sólidos consiste en medir su resistencia a la penetración de un dispositivo rígido en el seno del material. De esta forma se mide la cohesión interna del producto. El penetrómetro Fruit Pressure Tester marca Wagner, es un instrumento que consiste esencialmente de un vástago cilíndrico unido a un dinamómetro (muelle calibrado en libras o en kilogramos fuerza), que mide la resistencia mecánica del material al avance del vástago hasta una determinada distancia (Aguilera y Alvarado, 2001). Este método permite cuantificar de alguna manera la firmeza del producto cárnico.

#### **1.8.2 Estabilidad del jamón cocido**

Frecuentemente se utilizan métodos que miden la cantidad de agua englobada en el gel durante su formación, o bien la pérdida de agua que surge cuando se somete el gel a una

concentración o centrifugación moderada. En este caso es importante no romper la red proteica (Cheftel y col., 1989).

### **1.8.2.1 Capacidad de retención de agua**

La CRA es una propiedad físico-química importante en el jamón cocido, ya que está relacionada con la textura, color y firmeza de los productos cárnicos (Wierbicki y col., 1957). Dicha retención de agua se produce a nivel de las cadenas de actino-miosina. Es la propiedad que determina dos importantes parámetros económicos: las pérdidas de peso en los procesos de transformación y la calidad de los productos obtenidos. En productos cocidos como el jamón interesa que la materia prima tenga una CRA bastante grande. La mayor parte de los músculos post-rigor contienen en proporción de un 70 % de agua en las proteínas miofibrilares; 20 % en las sarcoplásmicas y 10 % en el tejido conectivo (López, 1994).

Para Hamm (1960) el término de CRA se define como la propiedad de una proteína cárnica para retener el agua tanto propia como añadida, cuando se somete a un proceso de elaboración. Fennema (2000) propuso una teoría que supone que el agua está unida al músculo de tres formas diferentes:

1. Agua de constitución: 5 % del total. Forma parte de la misma carne y no hay forma de extraerla.
2. Agua de interfase: está unida a la interfase proteína-agua, esta agua de interfase se subdivide en agua vecinal más cercana a la proteína, formando dos, tres o cuatro capas, y agua multicapa, que está más alejada de las proteínas.
3. Agua normal: que se subdivide en dos modalidades: agua ocluida, que esta retenida en el músculo envuelta en las proteínas gel, y agua libre, que es la que se libera cuando se somete a tratamiento térmico externo

La CRA se supone es causada en primer lugar por una inmovilización de agua de los tejidos en el sistema miofibrilar (Hamm, 1960), más específicamente el agua es mantenida o atrapada en el músculo o producto muscular por una acción capilar que es generada por pequeños poros o capilares, teniendo en cuenta además que las miofibrillas ocupan aproximadamente el 70% del volumen total de la masa molecular; esto significa que una

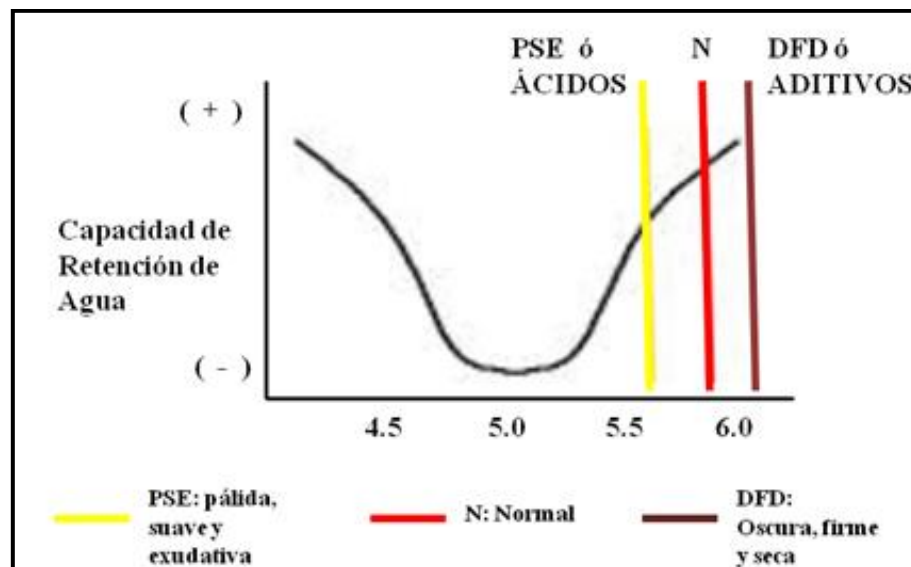
notable parte del agua inmovilizada debe estar localizada en los filamentos gruesos y entre los filamentos gruesos y finos de las miofibrillas (Offer y Trinick, 1983).

### Factores que influyen en la CRA de la carne

La CRA depende de dos factores fundamentales: el tamaño de zona H, que es el espacio libre donde se retiene el agua, y la existencia de moléculas que aportan cargas y permitan establecer enlaces dipolo-dipolo con las moléculas de agua. Existen diversos factores que influyen en la CRA que se describen a continuación:

- **pH**

El pH es el factor que determina el grado de separación entre las miofibrillas. El pH ideal para la elaboración de productos cárnicos se encuentra entre 5,6 y 6,3. A pH elevados se ha superado el punto isoeléctrico de las proteínas cárnicas (punto donde la separación es mínima por tener igual número de cargas positivas que negativas con lo que no se produce repulsión), desaparecen las cargas positivas, quedando las proteínas cargadas negativamente. Esto origina la repulsión de filamentos, dejando espacio para las moléculas de agua. A pH 5, punto isoeléctrico de la mayoría de las proteínas cárnicas no existen en ellas cargas netas y no hay, por tanto, atracción por las moléculas de agua (polares), ni repulsión entre las moléculas de proteínas entre sí.



**Figura 13.** Influencia del pH sobre la CRA de la carne

Fuente: *Narciso, 2013.*

A medida que el pH aumenta, por un lado, aumenta la carga y la atracción dipolo-dipolo, y, por otro lado, hay repulsión entre las moléculas de proteínas cargadas de igual signo, aumentando el tamaño de la zona H. Luego la mínima capacidad de retención de agua coincide con el pH 5, aumentando a medida que se aleja del mismo (Figura 13).

### **Cambios *post-mortem***

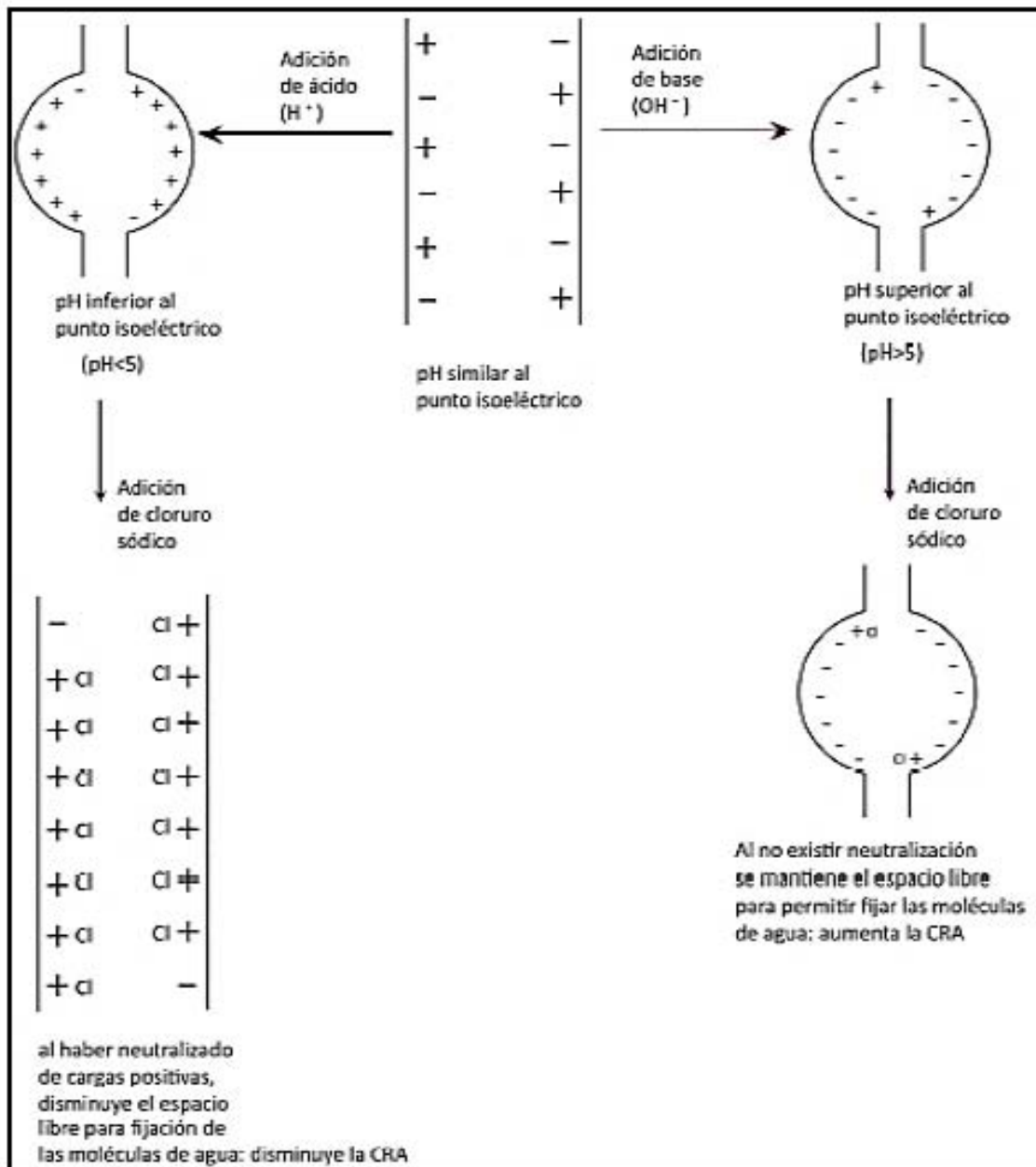
Después del sacrificio, la CRA es muy grande, debido a que el pH es aproximadamente de 7,0 y a que no se ha formado el complejo de actina miosina. A medida que se acerca el rigor mortis, el glucógeno se transforma en ácido láctico (por glicolisis anaerobia) y el pH baja, normalmente desde 7.0-7.2 a 5.5-6.5 (Ranken, 2003), lo que implica que la CRA sea mínima. Durante la maduración de la carne la CRA se incrementa debido a la extensión del músculo que se presenta durante esta fase.

- **Adición de sales**

La CRA en una carne a la que se le ha añadido cloruro sódico depende del pH. Si el pH es mayor a 5 la CRA se mejorará notablemente y si el pH es menor de 5 la CRA disminuye al añadir cloruro sódico, ya que el ion  $\text{Cl}^-$  es mucho más activo que el  $\text{Na}^+$  y capaz de neutralizar las cargas positivas del músculo a pH menor que 5. A pH mayor que 5 el músculo está cargado negativamente, por lo que el ion  $\text{Cl}^-$  resulta inactivo (Figura 14) (López, 1994).

La presencia de cloruro sódico en la carne aumenta su capacidad de retención de agua. La mayoría de agua presente en la carne se encuentra retenida por fenómenos de capilaridad entre los miofilamentos de las fibras musculares formados fundamentalmente por las proteínas actina y miosina. Cualquier factor que tenga como consecuencia una reducción o un aumento del espacio entre dichos miofilamentos provocará respectivamente una disminución o un incremento de la CRA. En el caso del cloruro de sodio, el anión  $\text{Cl}^-$  se une a los grupos cargados positivamente de las proteínas, provocando una disminución de su punto isoeléctrico, como consecuencia, se produce un incremento del número neto de cargas negativas en las proteínas, y por fenómenos de repulsión, un aumento del espacio entre las proteínas, con el consiguiente incremento de la CRA (Ventanas y col., 2001).

Los fosfatos alcalinos también mejoran la CRA cuando el pH es mayor que el punto isoeléctrico. Se puede explicar porque el fosfato eleva el pH, el fosfato actúa de forma similar al ATP evitando la formación del complejo actomiosina (Carballo,1991).



**Figura 14.** Influencia de la adición de cloruro sódico en la CRA y dependencia de la misma con el pH

Fuente: López, 1994.



### **1.8.2.2 Sinéresis**

Uno de los parámetros importantes para evaluar la estabilidad del jamón es la sinéresis ya que durante el almacenamiento puede ocurrir que las macromoléculas reaccionen entre sí y pierdan su capacidad de retención de agua; por lo tanto, las moléculas de agua que ya no son retenidas se desprendan de la matriz del gel y emigran a la superficie, lo cual indica exudación o liberación de agua causada por reacomodo interno de macromoléculas. La sinéresis de los geles se ve influida por varios factores: 1) es afectada por el pH del sistema y alcanza la máxima sinéresis cuando se alcanza el punto isoeléctrico, 2) la temperatura a la que se mantiene el sistema puede acelerar la sinéresis, 3) la presión ejercida sobre un gel contribuye a su sinéresis y 4) la naturaleza de la fase dispersa que tiene un efecto en la sinéresis (Badui, 2006).

## **JUSTIFICACIÓN**

La industria cárnica es la industria de alimentación que mayor volumen de ventas mueve, actualmente ha diversificado sus formulaciones en los productos cárnicos con la finalidad de reducir la cantidad de materia prima y de esta manera reducir los costos de sus productos, para que puedan ser adquiridos por todo el mercado. La selección de los ingredientes y los métodos de procesamiento afectan directamente a las características finales del jamón; para ello se adicionan aditivos alimentarios que proporcionen textura, aumenten el volumen en los productos elaborados y que sean capaces de corregir las mermas por liberación de agua durante su procesamiento y almacenamiento y así, obtener un jamón con características deseables por el consumidor.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el efecto de la adición de una mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo en la estabilidad, firmeza y rendimiento de jamón cocido de carne de conejo a través de la evaluación de algunas propiedades físicas y fisicoquímicas.

### **Particulares**

- 1.** Evaluar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de una mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo en la firmeza del jamón cocido de carne de conejo sobre las propiedades físicas de resistencia a la deformación y rebanabilidad, obtenidas mediante el uso de un penetrómetro y el rebanado mecánico de los jamones.
- 2.** Evaluar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de una mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo en la estabilidad del jamón cocido de carne de conejo, mediante pruebas empíricas de sinéresis y de centrifugación controlada para obtener los rendimientos y la capacidad de retención de agua.

## **HIPÓTESIS**

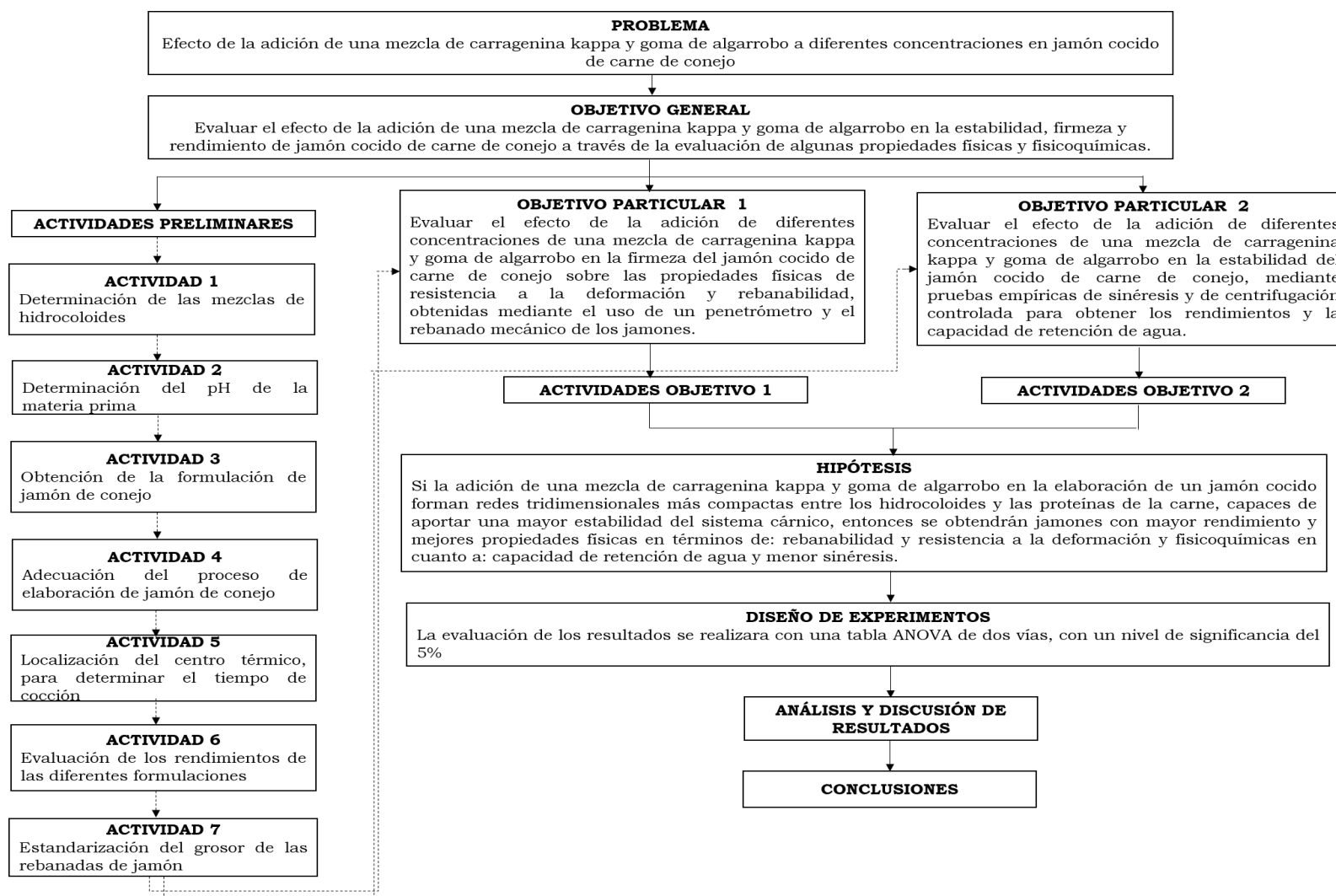
Si la adición de una mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo en la elaboración de un jamón cocido forman redes tridimensionales más compactas entre los hidrocoloides y las proteínas de la carne, capaces de aportar una mayor estabilidad del sistema cárnico, entonces se obtendrán jamones con mayor rendimiento y mejores propiedades físicas en términos de: rebanabilidad y resistencia a la deformación y fisicoquímicas en cuanto a: capacidad de retención de agua y menor sinéresis.

# **Capítulo 2.**

# **Metodología Experimental**

## 2 . METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 2.1 Cuadro metodológico



## **2.2 Descripción de la metodología experimental**

El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de la adición de una mezcla de hidrocoloides (carragenina kappa y goma de algarrobo) sobre la firmeza y estabilidad de un jamón cocido. Se adicionaron diferentes concentraciones de la mezcla de hidrocoloides en una formulación establecida por Pérez (2010), en la cual utilizó carne de conejo como modelo de estudio para la elaboración de un jamón. Para este proyecto se utilizó carne de conejo de la raza *California* de 96 horas posterior a su sacrificio, la cual es producida en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Se realizó una serie de actividades previas a la evaluación de los jamones, que prácticamente permitieron encontrar las mejores condiciones del proceso para su elaboración; también se realizaron actividades para determinar las propiedades físicas y fisicoquímicas, y de esta manera evaluar el efecto de la mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo en el jamón, tales actividades se describen a continuación.

### **2.2.1 Determinación de la mezcla de hidrocoloides**

Para la determinación de la mezcla se realizaron seis dispersiones de carragenina kappa y goma de algarrobo. En el Cuadro 6 se presenta la variación de los porcentajes de mezcla de los hidrocoloides los cuales se prepararon a una concentración del 1 %, se dispersaron en un volumen de 50 mL, cada una de las mezclas alcanzó una temperatura de hidratación de 82°C, posteriormente se almacenaron en refrigeración a temperatura de 4 °C por 24 horas para permitir la formación del gel. Posteriormente los geles se evaluaron mediante la medición de la sinéresis. La sinéresis se determinó por diferencia de pesos (Ec.1) (Montoya, 2010), así mismo se observaron las características físicas de los geles como la firmeza, para finalmente establecer la mezcla de hidrocoloides que proporcione mejores características.

**Cuadro 6.** Porcentajes de mezcla de hidrocoloides

Muestra	% Carragenina	% Goma de algarrobo
1	100	0
2	90	10
3	80	20
4	70	30
5	60	40
6	50	50

$$\text{Sinéresis} = \frac{\text{peso inicial muestra} - \text{peso final muestra}}{\text{peso inicial muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

En base a los resultados obtenidos de esta prueba (Anexo 1), se determinó que el porcentaje de mezcla de hidrocoloides fuera de 70% de carragenina kappa y 30% de goma de algarrobo, debido a que el gel formado por esta mezcla presento menor sinéresis.

### 2.2.2 Determinación del pH de la carne de conejo

Se determinó el pH de la pulpa de conejo utilizando la metodología descrita por la AOAC 943.02. Se empleó un potenciómetro marca OAKTON modelo ELI-030 con electrodo de inmersión (Figura 16). Se ajustó el electrodo con soluciones buffer de referencia (pH 4 y 7). Se preparó la muestra para su análisis, 10 g de carne y 100 mL de agua destilada en un vaso de licuadora, se licuó durante un minuto y por último se realizó una filtración sobre papel filtro. El electrodo se sumergió en el filtrado y se tomó la lectura de pH de la muestra.

El electrodo de inmersión se enjuagó con agua destilada para eliminar cualquier residuo y se hicieron nuevas lecturas (Figura 15). Se realizaron tres réplicas de tres muestras s de la carne de conejo tomadas de manera aleatoria.



**Figura 15.** Medición de pH de la materia prima cárnica

### **2.2.3 Obtención de la formulación de jamón de conejo**

Una vez que se estableció la mezcla de carragenina kappa/goma de algarrobo se obtuvo la formulación para la elaboración de jamón cocido de carne de conejo, tomando como referencia la formulación establecida por Pérez (2010); asimismo se revisó que los ingredientes funcionales cumplieran con la normatividad nacional (NOM-158-SCFI-2003, NOM-213-SSA1-2002, Acuerdo de aditivos).

Se establecieron tres formulaciones de acuerdo con los niveles de variación: 0% de (lote control), 0.6 % y 0.8 % de hidrocoloides (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Formulaciones para la elaboración de jamón cocido de carne de conejo

INGREDIENTES	LOTE 1 (%)	LOTE 2 (%)	LOTE 3 (%)
Pulpa de conejo	74.56	73.93	73.76
Agua	22.00	22.00	22.00
Proteína de soya	0.95	0.95	0.95
Sal común	0.88	0.88	0.88
<b>Hidrocoloides</b>	<b>0</b>	<b>0.60</b>	<b>0.80</b>
Fosfato de sodio	0.51	0.51	0.51
Sal cura	0.44	0.44	0.44
Azúcar	0.29	0.29	0.29
Condimento	0.22	0.22	0.22
Antioxidante	0.07	0.07	0.07
Ac. ascórbico	0.04	0.04	0.04
Glutamato monosódico	0.03	0.03	0.03
Colorante carmín	0.01	0.01	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

#### **2.2.4 Adecuación del proceso de elaboración de jamón cocido de conejo**

Para adecuar el proceso de elaboración de jamón cocido de carne de conejo se realizaron corridas experimentales previas para establecer las condiciones más favorables y así poder obtener un jamón firme y estable, como ya se mencionó anteriormente, se tomó como referencia la metodología descrita por Pérez (2010). En la figura 16 se presenta el diagrama de proceso para la elaboración de jamón cocido de conejo.



## Diagrama de proceso de elaboración de jamón cocido de conejo

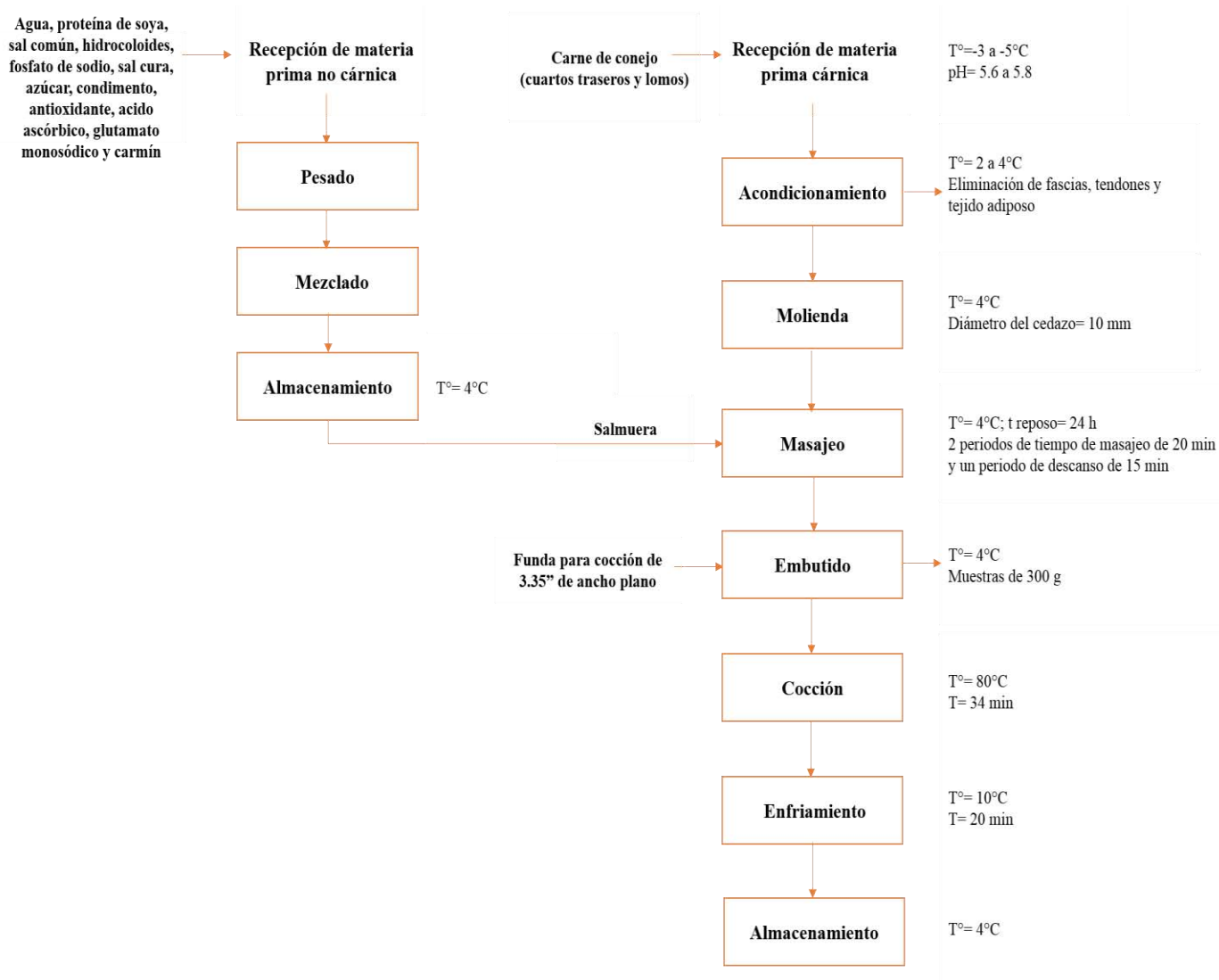


Figura 16. Diagrama de proceso

### 2.2.5 Diseño experimental

La estimación del efecto de la adición de carragenina kappa (70%) y goma de algarrobo (30%) a diferentes concentraciones sobre las propiedades del jamón cocido de conejo se realizó mediante un análisis estadístico de varianza (Tabla ANOVA) de dos vías con programa Minitab 16.0, se utilizó un nivel de significancia de  $P < 0.05$ , donde los tratamientos, las concentraciones de los hidrocoloides (0%, 0.6% y 0.8 % de hidrocoloides) y los bloques corresponden al tiempo de almacenamiento de los lotes experimentales (1 y 5 días).

Posteriormente se plantearon dos pruebas de hipótesis para estimar el efecto de los hidrocoloides en el jamón cocido.

- **Pruebas de hipótesis**

**Tratamientos**

Concentración de hidrocoloides

$H_0 = \mu_0 = \mu_{0.6} = \mu_{0.8}$

$H_1 =$  al menos una  $\mu$  es diferente

**Bloques**

Tiempo de almacenamiento

$H_0 = \mu_0 = \mu_5$

$H_1 = \mu_0$  diferentes  $\mu_5$

### 2.2.6 Unidades experimentales

Se elaboraron 3 diferentes lotes siguiendo las siguientes etapas del proceso de elaboración de jamón cocido de carne de conejo:

Se realizó la recepción de la carne de conejo con temperatura de congelación de  $-3\text{ }^\circ\text{C}$  y un valor de pH de 6.04, la cual se llevó a una descongelación por inmersión en agua, con el fin de proseguir con el acondicionamiento de la materia prima cárnica. Para la elaboración de jamón cocido de carne de conejo se empleó carne exclusivamente de los cortes de piernas y lomos de la canal de conejo de raza *California*. Durante la obtención de la pulpa cárnica se realizó el deshuese y la limpieza de las piezas de forma manual, se eliminó cierto porcentaje de tejido adiposo, así como cartilago, hueso, fascias, tendones y pelos (Figura 17), dado que si no se realiza bien el acondicionamiento la extracción de proteínas cárnicas será pobre debido a que el músculo se encuentra contraído y cubierto por fascias. Posteriormente la pulpa obtenida se cortó en trozos de aproximadamente 3 cm de ancho con el propósito de hacer más eficiente la extracción de las proteínas solubles de la carne en soluciones salinas en la etapa de la molienda.



**Figura 17.** Acondicionamiento de la materia prima

La molienda se realizó en un molino marca TORREY modelo M12-FS utilizando un cedazo con orificios de 10 mm de diámetro. Se colocó la materia prima cárnica en la entrada de alimentación del equipo (Figura 18) y se hizo pasar por el gusano el cual arrastra a la carne a la salida del cedazo obteniendo un menor diámetro de partícula. Una vez molida la carne se almacenó a 4 °C para controlar la cadena de frío durante todo el proceso.



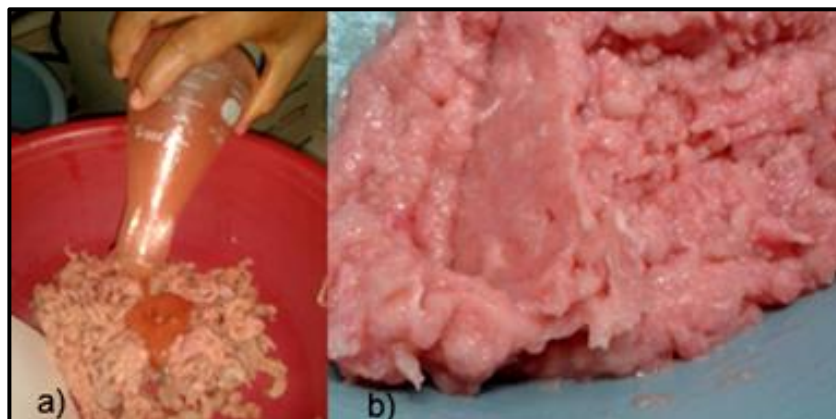
**Figura 18.** Molienda de la pulpa de conejo

En seguida se preparó la salmuera donde se pesaron los ingredientes sólidos: proteína de soya, sal refinada, la mezcla de hidrocoloides, fosfato de sodio, sal cura, azúcar, condimento, antioxidante, ácido ascórbico, glutamato mono sódico y colorante. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se adicionaron los ingredientes sólidos con excepción de la proteína de soya, se agregó un porcentaje de agua ultrapura del total de la formulación. Se utilizó una parrilla con agitación y un agitador magnético para mezclar los ingredientes a una temperatura ambiente, los ingredientes no cárnicos se mezclaron hasta que estos estuvieran completamente disueltos (Figura 19), la dispersión de la proteína de soya se realizó independientemente de la salmuera con el porcentaje de agua ultrapura restante, ya que si la proteína de soya se mezcla junto con los hidrocoloides aumenta la viscosidad del medio y no se realiza la dispersión completa de los ingredientes. Cabe señalar que una vez que se preparó la salmuera se mantuvo en refrigeración a 4 °C a fin de tener control en la temperatura en esta etapa.



**Figura 19.** Preparación de la salmuera

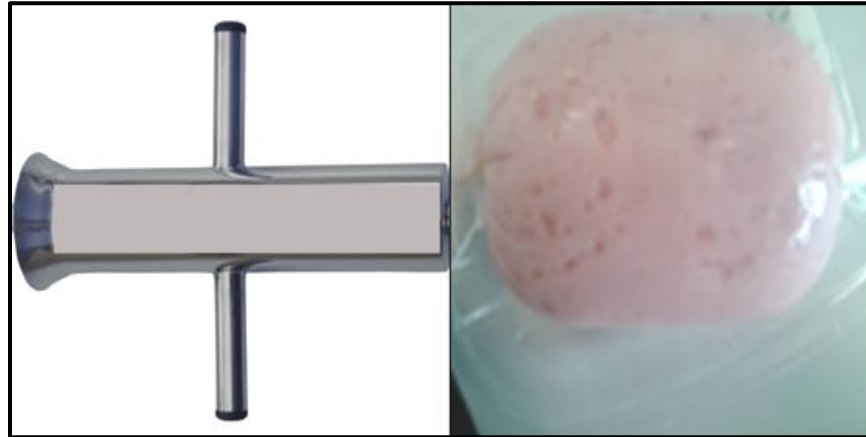
La salmuera y la proteína de soya se adicionaron a la pulpa de conejo previamente molida (Figura 20). Después se realizó el masajeo que consistió en un suave frotamiento de una superficie de la carne con otra, la absorción de la salmuera en la pulpa de la carne de conejo se aceleró y mejoró en gran medida por la acción mecánica manual. Este tratamiento mecánico se realizó con dos sesiones de aplicación de fuerza manual de 20 minutos con un periodo de descanso de 15 en almacenamiento a 4 °C entre cada sesión de masajeo. Posteriormente, la pasta obtenida tuvo un reposo en refrigeración por 24 horas para que las sales de curación y los demás ingredientes interactuaran con las proteínas cárnicas, y así conseguir la solubilización de las proteínas y una mayor absorción de la salmuera.



**Figura 20.** a) Adición de la salmuera b) obtención de la pasta cárnica

Una vez obtenida la pasta cárnica se prosiguió a realizar el embutido. Con la ayuda de un aditamento (Figura 21) se embutió manualmente la pasta, se utilizaron fundas de cocimiento

directo de 3.35 pulgadas de ancho plano y se embutieron los jamones con un contenido neto de 300 g.

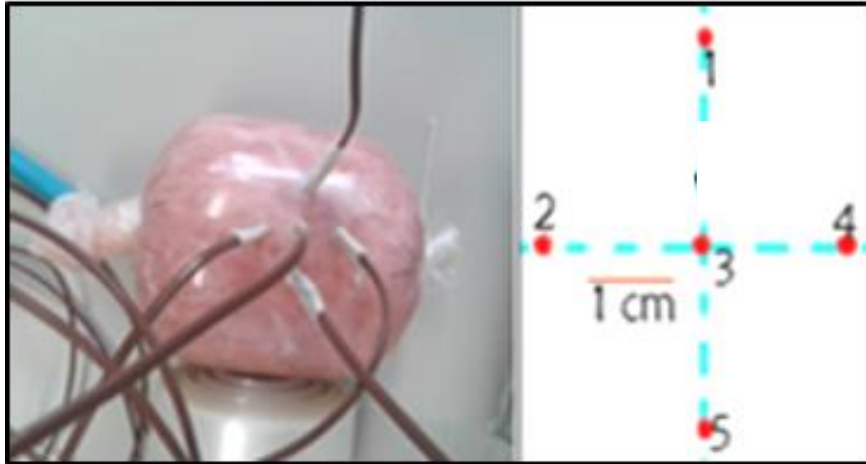


**Figura 21.** Aditamento para embutir jamones

La cocción es un punto crítico de control en la elaboración de jamones ya que se busca disminuir la carga microbiana que esté presente en el producto, además de que ejerce sus mayores efectos en las características finales al jamón a través de los cambios en la matriz proteica (Ranken,2003; Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 2000). Para esta operación se siguió la metodología descrita por Pérez (2010), en la cual describe que la operación debe realizarse mediante la inmersión de las piezas de jamón en agua a 80 °C. Para determinar el tiempo de tratamiento térmico se consideró la dimensión del jamón, así como con la temperatura de cocción. La NOM-213-SSA1-2002 establece una temperatura de 70 °C en centro térmico para productos cárnicos cocidos.

El tiempo de cocción para los jamones se determinó mediante historias térmicas. Se asumió que el centro térmico del bloque de jamón es su centro geométrico debido a su semejanza con un cilindro, por simetría el centro geométrico esta sobre el eje longitudinal del cilindro, y luego, dentro del eje longitudinal también por simetría; estará el punto medio de dicho eje. Se ubicaron cinco termopares previamente validados a lo largo de eje axial y radial con 1 cm de distancia del centro geométrico (Figura 22); con los termopares ya colocados en el jamón, éste se sumergió en agua a temperatura de 80 °C. Posteriormente se hizo la medición de la

temperatura en intervalos de tiempo de 1 minuto hasta que se alcanzó una temperatura de 70 °C. Con esto se corroboró que el centro geométrico es el centro térmico de la pieza de jamón debido a que tardó más tiempo en calentarse.



**Figura 22.** Arreglo de termopares para la determinación del tiempo de cocción

De acuerdo con los resultados de las historias térmicas (Anexo 2) se consideró que el tiempo de cocción fuera de 34 minutos.

Al finalizar el proceso térmico, los jamones fueron sometidos a un proceso de enfriamiento por inmersión de agua con temperatura de 10 °C por 20 min. Posteriormente se almacenaron en refrigeración a 4 °C.

### **2.2.7 Evaluación de los lotes experimentales**

Los lotes de jamones fueron almacenados en refrigeración a 4 °C. Se evaluaron las propiedades físicas y fisicoquímicas de los jamones: rebanabilidad, resistencia a la deformación, CRA y sinéresis los días 1 y 5 de almacenamiento.

### 2.2.7.1 Obtención de rendimientos por cocción

Después de la cocción se calculó el porcentaje de merma para determinar las pérdidas de agua por cocción de los jamones, y así determinar la formulación que presentó mayores rendimientos. El cálculo del porcentaje de merma se determinó con la ecuación 2.

$$\text{Merma (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad \text{Ec. 2}$$

*P<sub>i</sub>: peso inicial de la muestra*

*P<sub>f</sub>: peso final de la muestra*

### 2.2.7.2 Rebanabilidad de jamón cocido

Se determinó el porcentaje de rebanabilidad del jamón cocido de conejo, donde se coloca un bloque de jamón en la maquina rebanadora marca TOR-REY SS-300 (Figura 23) (regulada para obtener lonchas de 1 mm de grosor). Para evaluar el porcentaje de rebanabilidad se conformaron dos grupos de lonchitas, las íntegras y las defectuosas, y se realizó el pesaje de cada grupo; después se calcula el porcentaje de lonchas íntegras de acuerdo con la siguiente ecuación 3 (Ramírez, 2010):

$$\% \text{ Rebanabilidad} = \frac{\text{peso de rebanadas íntegras}}{\text{peso bloque rebanado}} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$



**Figura 23.** Rebanadora marca TOR-REY modelo SS-300

### 2.2.7.3 Determinación de la resistencia a la deformación del jamón cocido

La resistencia a la deformación se midió con un penetrómetro de mano marca Wagner. La determinación de la resistencia a la deformación del jamón por medio del penetrómetro (Figura 24) se basa en la presión necesaria para insertar un puntal de tamaño específico (8mm) en la superficie del jamón hasta una profundidad dada (1.5 cm); debe tenerse un cuidado especial a fin de garantizar una aplicación uniforme y suave de la presión al tomar las lecturas (Aguilera y col., 2001).



**Figura 24.** Determinación de la resistencia a la deformación

### 2.2.7.4 Determinación de CRA mediante centrifugación controlada

La determinación de CRA se realizó con una centrifuga Centurion Scientific LTD, modelo K3R (Figura 25) siguiendo la metodología que se describe en el trabajo recopilatorio de Honikel, K. 1996. Para iniciar la prueba, primero se programó la centrifuga con las condiciones planteadas por la metodología. Posteriormente se pesaron 5 g de muestra que se colocaron en tubos para centrifugar, con 8 mL de una solución 0.6 M de NaCl y se dejaron reposar en un baño de agua helada, con el fin de reducir la temperatura de la muestra. Seguido de este proceso, se colocaron en la centrifuga y se centrifugaron por media hora a 6000 rpm. Una vez finalizado el proceso de centrifugación se midió el volumen de sobrenadante de las muestras y se procedió a calcular la capacidad de retención de agua CRA (Ec. 4). Los resultados se expresan como la cantidad de mililitros de solución de NaCl 0.6M retenidos.



$$\% \text{ CRA} = \frac{V_a - V_s}{\text{peso de muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

$V_a$  = volumen de solución de NaCl 0.6M

$V_s$  = volumen de sobrenadante



**Figura 25.** a) Centrifuga CENTURION SCIENTIFIC LTD, modelo K20103R, b) colocación de los tubos en la centrifuga y c) medición del volumen del sobrenadante

### 2.2.7.5 Sinéresis de jamón durante almacenamiento en refrigeración

De acuerdo con Montoya (2010) la determinación del contenido de agua desalojada, se realizó por diferencia de peso utilizando una balanza analítica marca OHAUS. Mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Sinéresis} = \frac{\text{Peso inicial muestra} - \text{Peso final muestra}}{\text{Peso inicial muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. 5}$$

# **Capítulo 3.**

## **Resultados y discusión**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 pH de la carne

En el Cuadro 9 se muestran los valores de la determinación del pH para la materia prima con 96 horas posterior al sacrificio

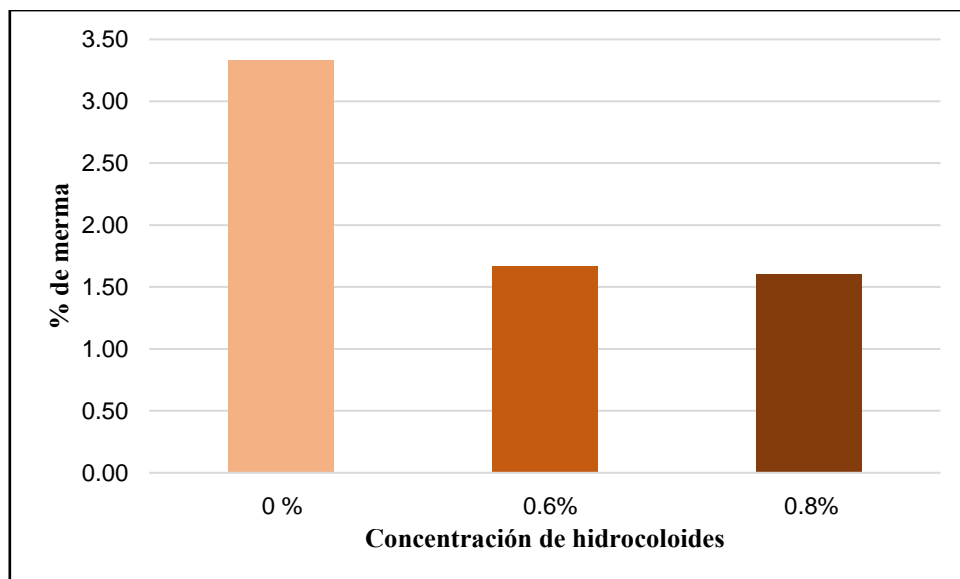
**Cuadro 8.** Valores de pH de la materia prima cárnica

repeticiones	pH
1	6.06
2	6.05
3	6.00
Promedio	6.04
Desviación estándar	0.03
CV	0.53 %

Se puede observar que el coeficiente de variación es menor del 5% lo indica que los datos son homogéneos entre ellos (Mendenhall y col., 2015), el promedio de los valores de pH de la materia prima que es de 6.04; este valor es similar al reportado por Hofman (1988) que menciona que el pH de la carne tiene valores de alrededor de 5.5-6.8. El pH es un factor muy importante ya que está relacionado directamente con la capacidad de retención de agua, a medida que aumenta el pH, por un lado, aumenta la carga y la atracción dipolo-dipolo, y, por otro, hay repulsión entre las moléculas de proteínas cargadas con igual signo, aumentando el tamaño de la zona H; de esta manera aumenta la capacidad de fijación de agua de la actomiosina. El pH es un factor fundamental para determinar la funcionalidad tecnológica de la carne en la elaboración de productos cárnicos.

#### 3.2 Rendimientos

El porcentaje de merma se calculó después de la cocción para las tres concentraciones 0% (control), 0.6% y 0.8% de hidrocoloides; en la Figura 26 se presentan los resultados del porcentaje de merma para cada concentración de hidrocoloides en la elaboración de jamón cocido de carne de conejo.



**Figura 26.** Rendimiento de los lotes de jamón cocido de carne de conejo

Se puede observar que después de la cocción el mayor porcentaje de merma fue de 3.33 %, se pudiera decir que los jamones cocidos elaborados con carne de conejo no presentaron pérdidas considerables de agua por cocción, y tal vez, se podría deber a que en la composición química de la carne de conejo en comparación con otras especies tienen un mayor contenido proteico, y de acuerdo con Hui y colaboradores (2006) un aumento de la concentración de proteína aumenta la cantidad de agua ligada evitando perdidas por cocción. Sin embargo, se observa que hay una ligera disminución del porcentaje de merma para las concentraciones con 0.6% y 0.8% de hidrocoloides, esta disminución pudiera deberse a que la adición de la mezcla de hidrocoloides mejora los rendimientos, ya que retienen la humedad reduciendo las mermas por cocción de los jamones cocidos (Aguilar y col., 2011; Tapasco, 2011).

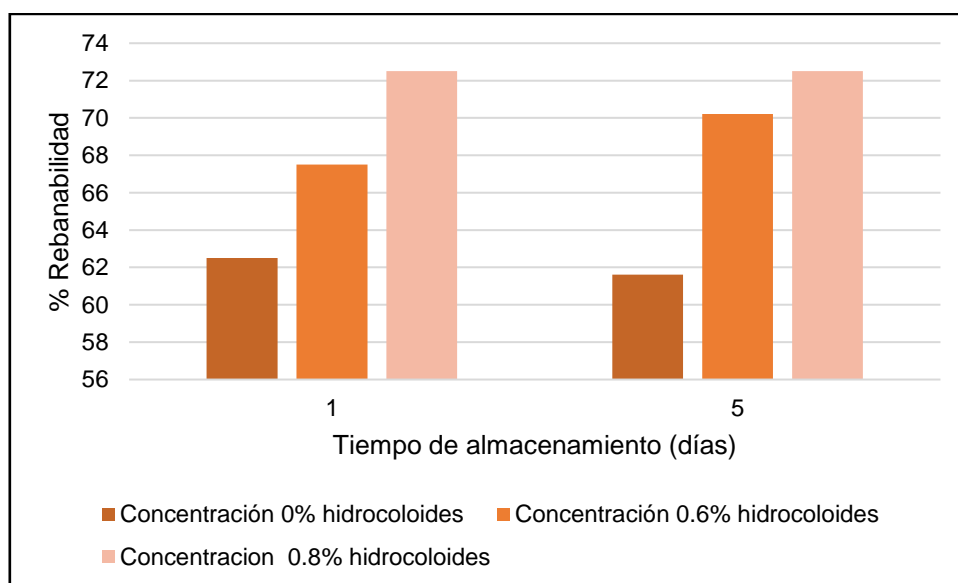
### 3.3 Rebanabilidad

La rebanabilidad se realizó los días 1 y 5 de almacenamiento a 4 °C. En el siguiente Cuadro 10 se reportan los valores obtenidos para las diferentes formulaciones.

**Cuadro 9.** Valores de rebanabilidad (%)

Concentración	Tiempo 1 días	Tiempo 5 días
0 %	62.50	61.61
0.6%	67.50	70.22
0.8%	72.50	72.50

En la Figura 27 se observa que la formulación de 0.8 % de hidrocoloides obtuvo mayor porcentaje en rebanabilidad conforme transcurría el tiempo en almacenamiento en comparación con la formulación control. En cuanto a la formulación de 0.6 % de hidrocoloides presentó un porcentaje de rebanabilidad de 67.5 en el día 1 y 70.22% en el quinto día de almacenamiento en refrigeración; por lo tanto, formulaciones de 0.6 % y 0.8% de hidrocoloides tuvieron un aumento considerable en el porcentaje de rebanabilidad conforme transcurría el tiempo de almacenamiento, y se pudiera deber a que conforme pasa el tiempo la estabilidad del producto aumenta.



**Figura 27.** Gráfico de rebanabilidad de los jamones

De acuerdo con Alvarado y colaboradores (2015), las interacciones proteína-polisacárido son importantes para producir un producto con buena habilidad de ligado, por lo que resulta una buena rebanabilidad, estas interacciones con la proteína se forman por uniones intermoleculares de las proteínas cárnicas como la actina y la miosina, así como por las interacciones de la proteína con la mezcla de carragenina kappa y goma de algarrobo.

Xargayó y colaboradores (2007) mencionan que la rebanabilidad está relacionada con la firmeza y cohesión de la red proteica; la formación de la red proteica se considera como resultado de un equilibrio entre las interacciones proteína-proteína, interacciones proteína-disolvente (agua) y fuerzas atractivas y repulsivas entre cadenas polipeptídicas próximas. Las fuerzas atractivas las representan las interacciones hidrófobas (aumentadas a altas temperaturas), electroestáticas, (tales como los enlaces, con los iones  $\text{Ca}^{++}$  y otros divalentes); enlaces hidrógeno (aumentados por enfriamiento) y/o las uniones disulfuro. Las repulsiones electrostáticas, (sobre todo a pH por arriba del punto isoeléctrico de las proteínas) y las interacciones proteína-agua, tienden a mantener separadas las cadenas polipeptídicas. Las atracciones proteicas intermoleculares (y la gelificación) se producen más rápidamente con concentraciones proteicas, dada su mayor probabilidad de contactos intermoleculares. Las proteínas también forman geles por interacciones con los hidrocoloides gelificantes. También el calentamiento favorece la fuerza de la red intermolecular debido a que durante el calentamiento se pueden liberar los grupos SH internos y promover la formación o el cambio de uniones disulfuro (Cheftel y col., 1989).

Estudios realizados por Restrepo y colaboradores (2010) y Aguilar (2011), indican que la adición de carragenina aumenta la dureza en los jamones cocidos mejorando su rebanabilidad.

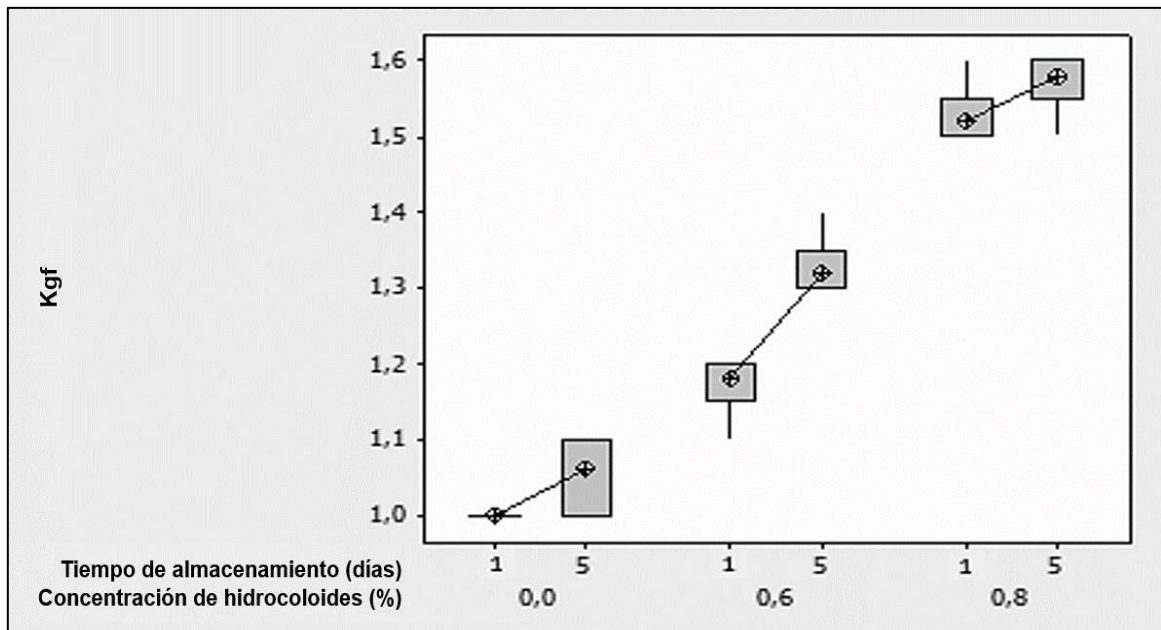
### **3.4 Resistencia a la deformación**

Se realizó la prueba de resistencia a la deformación a los jamones de carne de conejo en un tiempo de almacenamiento de 1 y 5 días, se realizaron 5 mediciones encada lote, en el Cuadro 11 se muestran los resultados obtenidos de resistencia a la deformación.

**Cuadro 10.** Resultados de resistencia a la deformación (kgf)

Concentración	Tiempo	Tiempo
	1 días	5 días
0%	1.00	1.06
0.6%	1.18	1.32
0.8%	1.52	1.58

Posteriormente se procedió a realizar un análisis estadístico, con un ANOVA de dos vías ( $P < 0.05$ ) con el programa Minitab 16, donde los tratamientos son las concentraciones de hidrocoloides (0%, 0.6% y 0.8%) y los bloques corresponden al tiempo de almacenamiento (1 y 5 días).



**Figura 28.** Gráfico de caja para ANOVA de dos vías (Resistencia a la deformación)

En la Figura 28 se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico para tratamientos y para bloques; se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) entre los resultados de resistencia a la deformación y la concentración de hidrocoloides, así como; con el tiempo de almacenamiento, es decir, la resistencia a la

deformación tuvo aumento conforme se aumentó la concentración de hidrocoloides; y tuvo un comportamiento ascendente conforme transcurría el tiempo de almacenamiento. Las propiedades de textura de los geles proteicos están relacionadas con el espacio y frecuencia de los enlaces a lo largo de la cadena de los polímeros; al respecto Glicksman (1969) menciona que en tiempos largos se cierran los espacios de los enlaces resultando una estructura más rígida y ordenada. La carragenina kappa puede formar geles cohesivos a una concentración de hasta 0.5%, la fuerza del gel depende de la concentración de carragenina y del tipo de catión presente (Totosaus, 2007). Por lo anterior, el contenido de hidrocoloides parece ser muy importante ya que tiene un efecto en la firmeza del producto, dando lugar a una estructura más firme y resistente.

El aumento de la resistencia a la deformación concuerda con lo mencionado por Montiel (2001) que indica que la goma de algarrobo con la carragenina kappa, produce geles con una mayor fuerza, son elásticos, retienen la forma, térmicamente son reversibles y no son frágiles, acompañada por una reducción en la sinéresis, además de que son estables en almacenamiento. Estudios realizados por diferentes autores reportan una mejora en textura adicionando en las formulaciones carragenina kappa y goma de algarrobo, debido a su efecto sinérgico (Súlpeveda, 2013; Chen y col., 2001).

### **3.5 CRA**

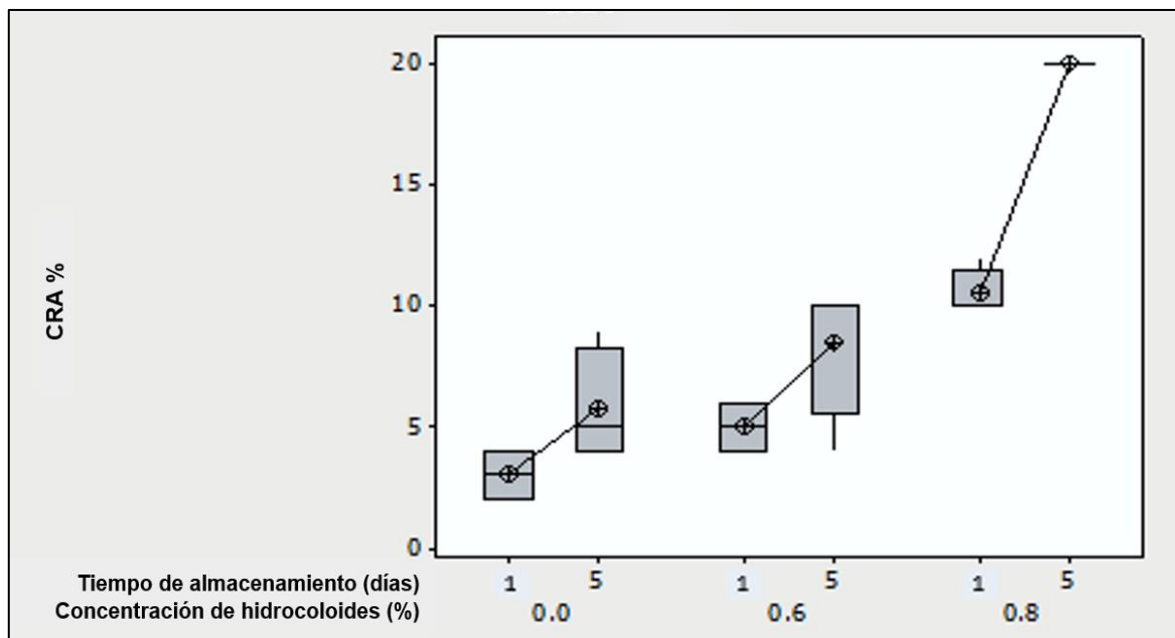
En el Cuadro 12 se presentan resultados obtenidos de CRA con los cuales se realizó un análisis estadístico, un ANOVA de dos vías con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ); se plantearon pruebas de hipótesis para determinar la influencia de las diferentes concentraciones (tratamientos) y el tiempo de almacenamiento (bloques) sobre la CRA de los jamones, los niveles de variación para los tratamientos corresponden a 0% (control), 0.6% y 0.8% de hidrocoloides y 1 y 5 días de almacenamiento en refrigeración para los bloques.



**Cuadro 11.** Resultados de capacidad de retención de agua (%)

[Hidrocoloides]	Tiempo 1 días	Tiempo 5 días
0 %	3.00	5.00
0.6%	4.00	8.50
0.8%	10.50	20.50

En la figura 29 se puede observar que los valores de CRA para las formulaciones con 0% y 0.6% de hidrocoloides no presentaron diferencia estadística ( $P>0.05$ ) entre el día 1 y 5 de almacenamiento, sin embargo, la concentración de 0.8% de hidrocoloides presentó una diferencia estadísticamente significativa ( $P<0.05$ ) en comparación con estas dos formulaciones, debido a que hubo un mayor aumento de la CRA conforme transcurría el tiempo de almacenamiento en refrigeración.



**Figura 29.** Gráfico de caja para ANOVA de dos vías (CRA)

La capacidad de retención de agua en este tipo de productos es un atributo de calidad muy importante que tiene una influencia en su rendimiento del producto, que a su vez tiene

implicaciones económicas y que, dependiendo del proceso de producción, además de los ingredientes adicionados aumentará o disminuirá.

La CRA en productos cárnicos cocidos depende de múltiples factores dentro de los cuales destacan los ingredientes utilizados en la formulación, Tarté (2009), señala que la mayor cantidad de agua presente en la carne se encuentra retenida por fenómenos de capilaridad, entre los filamentos de las fibras musculares; en ese sentido el anión  $\text{Cl}^-$ , procedente de la sal añadida, es capaz de unirse a los grupos cargados positivamente de las proteínas cárnicas, provocando un incremento del número de cargas negativas en las proteínas y por ende un incremento de la fuerza iónica del medio. Los fenómenos de repulsión que se producen entre las cargas negativas provocan espacios entre las proteínas, aumentando su solubilidad, lo que genera que los grupos polares de las proteínas puedan unirse con las moléculas de agua (Armenteros, 2010). Por otro lado, los fosfatos alcalinos ayudan a aumentar la CRA ejerciendo un efecto sobre la capacidad de hidratación de las proteínas cárnicas, las cuales se encuentran unidas en sus estructuras terciarias y cuaternarias por enlaces electrostáticos, puentes de hidrógeno y puentes disulfuro; por lo tanto, la CRA será mayor cuanto menos compacta sean las estructuras cuaternarias o terciarias, lo que se consigue rompiendo el mayor número posible de estos enlaces (Llorenç, 2010). De este modo, los fosfatos alcalinos ayudan provocando un aumento en la fuerza iónica, al elevar el pH, desplazando el punto isoeléctrico de las proteínas, favoreciendo un desdoblamiento de las proteínas.

En este sentido el uso de hidrocoloides favorece el aumento de CRA ya que son moléculas altamente hidrofílicas que actúan sobre el agua libre consiguiendo reducir su movilidad, interactúan con otros ingredientes mejorando su funcionalidad y considerando que una mezcla de estabilizantes suele ser más eficaz que cualquiera de ellos por separado (Tapasco y col., 2011); varios autores mencionan que la adición de carragenina en productos cárnicos cocidos mejora la capacidad de retención de agua, formando redes tridimensionales que dan lugar a la formación de gel (Verbeken y col., 2005; Sapúlveda y col., 2013).

### **3.6 Sinéresis**

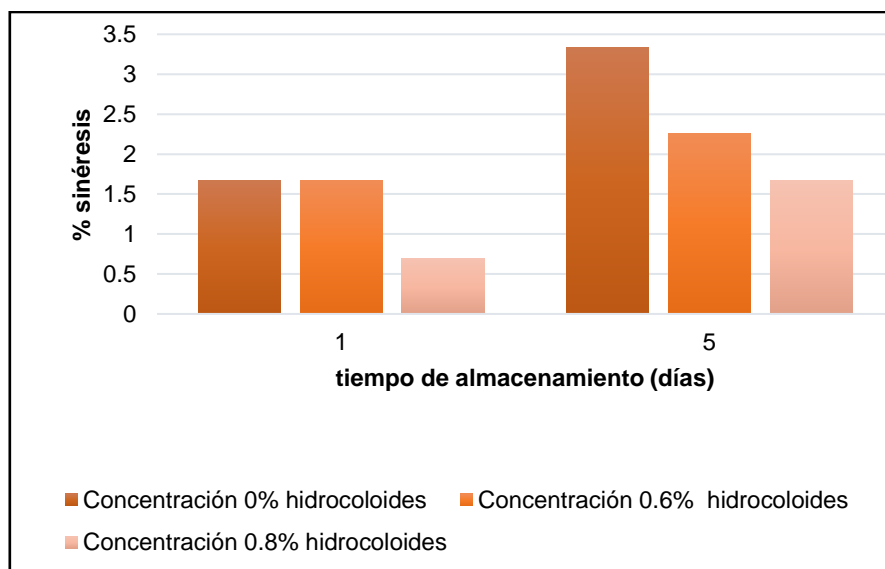
Para estudiar el efecto de la adición de los hidrocoloides (carragenina kappa y goma de algarrobo) sobre la estabilidad en el sistema (gel) se evaluaron las muestras después de un

día en refrigeración y posteriormente al quinto día de almacenamiento a 4 °C; en el Cuadro 13 se reportan los valores obtenidos.

**Cuadro 12.** Resultados de sinéresis (%)

<b>Concentración</b>	<b>Tiempo 1 días</b>	<b>Tiempo 5 días</b>
<b>0%</b>	1.67	3.33
<b>0.6%</b>	1.67	2.26
<b>0.8%</b>	0.70	1.67

En la Figura 30 se observa que la formulación control (0% de hidrocoloides) presenta mayor sinéresis conforme el tiempo de almacenamiento transcurre en comparación de las concentraciones 0.6 % y 0.8 % ya que durante el almacenamiento pudiera ocurrir que las macromoléculas reaccionen entre ellas y pierdan su capacidad de retención de agua lo que puede provocar que moléculas de agua que ya son retenidas, se desprendan de la matriz del gel y emigren a la superficie. También se observa que las concentraciones de la mezcla de hidrocoloides (70% carragenina kappa y 30% goma de algarrobo), tal vez, tuvieron un efecto en el porcentaje de sinéresis, así como el tiempo de almacenamiento también influyó en la estabilidad del jamón, por lo que la adición de estos hidrocoloides pudiera favorecer la estabilidad del sistema, ya que a una mayor concentración el porcentaje de sinéresis disminuyó.



**Figura 30.** Gráfico de % de sinéresis de los jamones

En la industria cárnica la presencia de sinéresis en este tipo de productos cocidos ha representado un reto importante, por lo cual se han utilizado aditivos para corregir este inconveniente, dentro de los aditivos más utilizados se encuentran las carrageninas que permiten altos niveles de agua en la elaboración de productos cárnicos (Montoya y col., 2010). Aunado a lo anterior, el uso de carragenina kappa en la elaboración de un jamón cocido de conejo presentó buenos resultados permitiendo que una concentración de 0.8 % de la mezcla de hidrocoloides disminuyera la sinéresis de las muestras de jamón tras 5 días de refrigeración, en comparación con el jamón control y con 0.6% de hidrocoloides, datos que concuerdan con los expuestos por Defreitas, 1994; Acharya, 1996; Ayadi y col., 2009.

## CONCLUSIONES

Se obtuvo mejores rendimientos con las muestras que contenían la mezcla de hidrocoloides (70% carragenina kappa y 30 % goma algarrobo) a diferentes concentraciones (0.6 y 0.8%) debido a que el porcentaje de merma en ambos lotes es menor en comparación con el jamón control; la disminución del porcentaje de merma pudiera deberse a que la adición de hidrocoloides favorece la retención de agua dentro de la matriz proteica.

La firmeza del jamón mejoró con la adición de los hidrocoloides a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento. El % de rebanabilidad aumentó en las muestras de las concentraciones de 0.6% y 0.8% de hidrocoloides en comparación con la muestra control (0% hidrocoloides), este aumento pudiera deberse a que la adición de la mezcla de hidrocoloides mejora la rebanabilidad de los jamones. En cuanto a los resultados de resistencia a la deformación tuvieron diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) con respecto a la concentración de hidrocoloides (0%, 0.6% y 0.8%) y también, tuvieron diferencia significancia ( $P < 0.05$ ) con respecto al tiempo de almacenamiento (1 y 5 días). La resistencia a la deformación aumentó al incrementar las concentraciones de la mezcla de hidrocoloides (0.6% y 0.8%); y también aumentó mientras transcurría el tiempo de almacenamiento. Los datos de mayor resistencia a la deformación se obtuvieron en el quinto día de almacenamiento en refrigeración, donde, para la concentración de 0% le corresponde un valor de 1.06 kgf, 1.32 kgf para la concentración de 0.6% y 1.58 kgf para la concentración de 0.08% de hidrocoloides.

La estabilidad de los jamones también se vio influida por la adición de los hidrocoloides, pues estos favorecen algunas propiedades como la CRA. Los resultados de CRA tuvieron un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) con la concentración de hidrocoloides de 0.8%, ya que hubo un aumento en la captación del agua en comparación con el lote control y la concentración de 0.6% de hidrocoloides. Los valores de CRA de las concentraciones de 0% y 0.6% de hidrocoloides no tuvieron diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) a diferentes tiempos de almacenamiento. La concentración de 0.8 % presentó los valores más altos de CRA conforme transcurría el tiempo de almacenamiento, donde, en el quinto día se obtuvo un valor de 20.5%. Por otro lado, la sinéresis disminuyó con la concentración de 0.8 % en comparación con la concentración de 0.6 % y el control, aunque cabe señalar que las concentraciones de

0.6 % y 0.8 % de hidrocoloides pudieron haber favorecido la reducción de la sinéresis conforme transcurría el tiempo de almacenamiento. En conclusión, las mejores características de rebanabilidad, resistencia a la deformación, CRA y sinéresis se obtuvieron al adicionar a la formulación 0.8% de hidrocoloides.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J.A., González, L., Juárez, J.M., Guadarrama, Z.B., Ramírez, M.E., Bernardino, A. (2011) Efecto de la utilización de bagazo de naranja como extensor funcional sobre las propiedades fisicoquímicas y texturales de jamón cocido. *Nacameh*. Vol. **5 (2)**:27-39.
- Aguilera, J.M., Alvarado, J. (2001) Métodos para medir propiedades en industrias de alimentos. Editorial Acribia Zaragoza. España. pp.152-154
- Alvarado, C. Z. Johnson, L. (2015). Mejorando la rebanabilidad de los productos deli. Consultado el 27 de diciembre de 2015, de: <http://www.carnetec.com/Industry/TechnicalArticles/Details/28058>
- Amako, D.E. and Y.L. Xiong. (2001) Effects of carrageenan on thermal stability of proteins from chicken thigh and breast muscles. *Food Research International* **34(2)**: 247-253.
- Andújar, G., Pérez D., Venegas O. (2003). Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos. Editorial Universitaria. Cuba. pp 8-13, 125
- Armenteros, M. (2010). Reducción de sodio en lomo y jamón curados. efecto sobre la proteólisis y las características sensoriales. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Ayadi, M.A., Kechaou, A., Makni, I. and Attia, H. (2009). Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties. *Journal of food Engineering* **93**:278-283
- Badui, D.S. (2006) Química de los alimentos. Mexico. Addison Wesley. pp 617-630
- Bailey A. J., and Light N. D. (1989) Connective tissue in meat and meat products. Elsevier Science Publishers. London. pp. 355.
- Bazan, E. (2008) Nitritos y nitrato: su uso, control y alternativa en embutidos cárnicos. *Nacameh*. **2 (2)**: 160-187
- Belitz, H. D. y Grosch, W. (1997). Química de los alimentos. 1 ra ed. Editorial Acribia Zaragoza. España
- Bodwell, C.E., Pearson, A.M., Spooner, M.E. (1965) Post mortem changes in muscle. I. Chemical changes in beef. *J. Food Sci.* **30**: 766-780.
- Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M., Sánchez, E. A., Torrescano, U. G., Areanas, M. M. L., Partida, P. J. A., Ponce, A. E., Ríos, R.F.G. (2011) Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. SAGARPA. 1 ra ed.
- Camps, J. (1996) Carne de conejo: Cualidades dietéticas y futuro. *Revista Dialnet*, **83**:48-54.
- Carballo, G. R. M, López, D.T.G. (1991) Manual de bioquímica y tecnología de la carne., A. Madrid Vicente. España

- Cheftel, J. C., Cuo, J. L., Corient, D. (1989) Proteínas alimentarias. Bioquímica. Propiedades funcionales. Valor nutritivo. Modificaciones químicas. 1 ed. Acribia Zaragoza. España. pp.154-155
- Chen, Y., M. Liao, D. Boger and D. Dunstan. (2001) Rheological characterization of K-carrageenan/ locust bean gum mixtures. Carbohydrate Polymers **46(2)**: 117-124.
- Cheng Q., D. Sun (2005) Application of PLSR in correlating physical and chemical properties of pork ham with different cooling methods. Meat Science **70(4)**: 691–698.
- Cobos, G. A. (2002) Influencia de la dieta en la composición lipídica de la carne de conejo. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. Madrid.
- Comité Nacional Sistema Producto Cunicola. (2009) Producción. Consultado 06 octubre de 2015, de: <http://www.cunicultura.org.mx/produccion.php>
- Comité Sistema Producto Cunicola del Distrito Federal. (2012) Consultado el 25 de febrero de 2016, de: [http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/estatales/EPT%20COMITE%20SISTEMA%20PR%20ODUCTO%20CUNICOLA%20DF/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR\\_CUNICOLA\\_DF\\_2012.pdf](http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/estatales/EPT%20COMITE%20SISTEMA%20PR%20ODUCTO%20CUNICOLA%20DF/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CUNICOLA_DF_2012.pdf)
- Cuebero, N., Monferrer, A., Villalta, J. (2002) Aditivos Alimentarios. Mundi-Prensa. España.
- Daudin, J. D. (1991) Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Editorial Acribia Zaragoza, España.
- Dorado, M. E. (2011) Acondicionamiento de la carne para su comercialización. I. C. editorial. España.
- Fennema, O.R. (2000) Química de los alimentos. Editorial Acribia Zaragoza. España
- Forrest, J. Aberle, E. Hedrick, H. Judge, M.,Merkel, R. (1979) Fundamentos de ciencias de la carne., Editorial Acribia Zaragoza. España
- Gerhardt, U. (1980). Aditivos e ingredientes. Editorial Acribia. España.
- Gil, R. (2013) Planta para la elaboración de jamón cocido. Proyecto de titulación. Universidad de La Rioja. España.
- Giuinee, T.P y Kilcawley, K. N. (2004) Cheese as an ingredient. En Cheese Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 2. 3 rd ed. P.L.H. McSweeney. Elsevier Science. London. pp. 395-428
- Glicksman, M. (1969) Gum Technology in the food industry. Food Science and Technology. Academic press mc. Ed. Board. USA.
- Guerrero, I., Arteaga, M.R. (1998) Tecnología de carnes. Editorial Trillas. México.



- Guerrero, L. I., Pérez-Chabela, M. L., Ponce, A. E. (2002). Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Unidad Iztapalapa, UAM, México.
- Hamm, R. (1960) Biochemistry of meat hydration. *Adv. Food Res.* **10**: 355.
- Hermansson A. (1982) Gel characteristics-structure as related to texture and water binding of blood plasma gels. *Journal of Food Science* **47**: 1965-1972
- Hofman, Klaus. (1988). El pH una característica de la calidad de la carne. *En: Fleischwirtschaft.* **2**:.13-18.
- Honikel, O. (1996). Reference methods supported by OECD and their use in mediterranean meat products. *Food Chemistry* **59**: 573-582.
- Hui Y.H., Guerrero I., Marcelo R.R. (2006) Ciencia y tecnología de carnes. Limusa Noriega Editores. México
- Larrea, V. (2003). Caracterización química y microestructural del jamón curado denominación de origen Teruel. Tesis doctoral en tecnología de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Lawrie, R.A. (1998) Ciencia de la Carne. 4ª. Edición. Editorial Acribia, Zaragoza España.
- López, J. (2004) Curso virtual de industria cárnica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, ICTA: [http://virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2001819/lecciones/cap05/cap05\\_01](http://virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2001819/lecciones/cap05/cap05_01) Consultado: 21 de octubre del 2014.
- Mendenhall, W., Beaver, R., Beaver, B. (2015) Introducción a la probabilidad y estadística. (14 ed.) Editorial Cengage Learning, México.
- Mendoza, E., Calvo, M. C. (2010). Bromatología: Composición y propiedades de los alimentos. Mc Graw Hill. México.
- Mendoza, E., M.L. García, C. Casas, M.F. Fernández y M.D. Selgas. (1998) Utilización de hidratos de carbono como sustitutos de grasa en productos cárnicos. Alimentación, Equipos y Tecnología.
- Molina, F.A., Restrepo, D.A., López, J.H. (2010). Estudio preliminar sobre la influencia de la carragenina kappa, kappa I.II y la goma tara en la viscoelasticidad y tixotropía de las salmueras de inyección para jamones cocidos picados de cerdo. *Rev.Fac.Nal. Agr. Medellín* **63 (2)**: 5707-5715.
- Molina, H. M. (2013). Estudio tecnológico de la carne de conejo para la elaboración de embutidos. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador.
- Montiel, J. (2001) Comportamiento reológico de geles de carragenina-algarrobo: pruebas estáticas y dinámicas. Servicio Social Titulación, que para obtener el título de Ingeniera en alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- Montoya, P. L. A., Restrepo, M. A., Suarez. M. H. (2010) Influencia del alginato de sodio sobre la sinéresis en jamón cocido. *Revista Facultad de Agronomía Medellín* **63**(1): 5409-5415
- Moulton, C.R. y Lewis, W.L. (1940) *Meat through the Microscope*. 2ª ed. Institute of Meat Packing. University of Chicago.
- Muñoz, C. M., Ledesma, S. J. A., Chávez, V.A., Pérez, F., Mendoza, E. M., Calvo, C.C. (2002) *Tablas de valor nutritivo de alimentos, edición internacional*, McGraw Hill, México
- Murai, S.; Arataa T y Inoue, A. (1995) Binding of myosin and its subfragment-1 with antibodies specific to the two heads of the myosin molecule. *Journal of Biochemical*. **117**: 974-979
- NORMA Mexicana NMX-FF-105-SCFI-2005. Productos pecuarios - carne de conejo en canal - Calidad de la carne- Clasificación.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003, Jamón-Denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
- NORMA Oficial Mexicana. NOM-194-SSA1-2004 Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos.
- Offer, G. y Trinick, J. (1983) On the mechanism of water holding in meat. The swelling and shrinking of the myofibrils. *Meat Sci.* **8**: 245
- Oliván G. C., Sierra S. V. y García E. P. (2013) Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad organoléptica de la carne de vacuno. *Tecnología Agroalimentaria* **12**: 45-52
- Paltrinien, Z., Meyer, M. (2002) *Manual de elaboración de productos cárnicos*. Editorial Tribillas. México.
- Paniagua R., Nistal M., Sesma P., Álvarez-Uría M and Fraile B. (1996). *Biología de y tejidos animales y vegetales*. Madrid, España.
- Perea, F.A. (2008) Evaluación de cuatro formas de presentación de bloques multinutricionales en la alimentación de conejos de engorde (*Oryctolagus cuniculus*) Amatitlán, Guatemala. Tesis para obtener el grado de Licenciado Zootecnista. Universidad de San Carlos. Guatemala.
- Pérez M., A. (2010) Desarrollo de productos cárnicos como alternativa tecnológica para el procesamiento de la carne de conejo producida en la FES-Cuautitlán. México. Tesis

- de licenciatura para obtener el título de Ingeniero en alimento. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
- Price, J., Scheweigert, B. (1994). *Ciencia de la carne y productos cárnicos*. Editorial Acribia Zaragoza. España.
- Ramírez, N. J. S. (2010) Propiedades funcionales de quesos: Énfasis en quesos de pasta hilada. *Universidad de Colombia. Reciteia* **10(2)**: 11-12
- Ranken M. (2003). *Manual de industrias de la carne*. (1 ed). España. Editorial: A. Madrid Vicente.
- Restrepo, D.; Arango, C.; Amézquita, A.; Restrepo; R. (2001). *Industria de Carnes*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia en la ciudad de Medellín.
- Restrepo, D.A., Molina, F.A., Cabrera, K.R. (2010) Efecto de la adición de carragenina kappa I.II y goma tara sobre las características de calidad de jamón de cerdo picado y cocido. *Rev.Fac.Nac.Agr.Medellín* **63 (2)**: 5717-5727.
- Rhodia (Compañía). (1999) *Ventajas de utilizar sistemas de hidrocoloides en productos cárnicos*. Medellín. pp. 60.
- Rodríguez, O. Y., Sampedro, S.I. (2011) Efecto de un extracto de semilla de cítricos en la calidad sanitaria de rebanadas de jamón de carne de conejo. Tesis que para obtener el título de Ingeniera en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rubio, A. (2014). *Caracterización del daño oxidativo y de la autofagia por estrés a lo largo de la maduración de la carne de cerdo*. Tesis para obtener el título de maestría en ciencias biotecnológicas alimentarias. Universidad de Oviedo. España.
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. (2000) *Guías Empresariales. EMBUTIDOS*. (1° ed). LIMUSA NORIEGA EDITORES. México. pp.50-59
- Sentandreu, M.A., Coulis, G., Ouali, A. (2002). Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in Food Science and Technology*, **13**:400-421.
- Sepúlveda, C.A., Restrepo, D.A., Cabrera, K.R. (2013) Efecto de la adición de hidrocoloides sobre las características reológicas de salmueras para la elaboración de jamón cocido. *Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín* **66 (2)**:7095-7106
- Tapasco, Y., Restrepo, D.A., Suárez, H. (2011) Efecto reológico de hidrocoloides sobre la salmuera de marinado de carne bovina. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol 9. No. **2**: 23-31.
- Tarté, R. (2009) *Ingredients in Meat Products-Properties, Functionality and Applications*. Springer. USA.
- The Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official Methods of analysis (17° ed.)* Washington, D.C. USA.

- Theno, D. M., Siegel, D. G and Schmidt, G.R. (1978) Meat massaging: Effects of salt and phosphate on the ultrastructure of cured porcine muscle. *Journal Food Science* **43**: 488.
- Toldrá, F. (2002). *Dry-cured meat products*. Trumbull, CT 06611 USA; Food & Nutrition Press INC.
- Torres, V. O. L; Hernández, O. J.; Sánchez, A.L.T. (2012) Evaluación de los cambios fisicoquímicos producidos por la composición de sal en la formulación de jamón cocido. *Revista Vitae*, **19**: S400 - S402
- Totosaus, A. (2007) Productos cárnicos emulsionados bajos en grasa y sodio. *Nacameh*. Vol. **1(1)**:53-66.
- Varnam, A. H., Sutherland J. P., Jaime, I. M. (1998) *Ciencia y productos cárnicos: Tecnología, química y microbiología*. Editorial Acribia. España.
- Ventanas, J., Andrés, A.I., Antequera, T., Aranda, E., Asensio, M.A., Benito, M.J., Bermúdez, E., Cava R., Carrapiso, A., Córdoba, J.J., Córdoba, G., Díaz, M.C., García C., González, E., Martín, A., Nuñez, F., Petró, M.J., Rodríguez, M., Ruíz, J., Tejada, J.F., Timón, M.L. (2001) *Tecnología del jamón ibérico de los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma*. Ediciones Mundi- Prensa. España.
- Verbeken, D., Neirinck, N, Meeren, P., Dewettinck, K. (2005) Influence of carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins, *Meat Sci.***70 (1)**:161-166.
- Verdeken, D., N. Neirinck, P. Meeren and K. Dewettinck. (2005) Influence of k-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins. *Meat Science* **70(1)**: 161–166.
- Vigoreaux, J. (1994) The muscle Z band: lessons on stress management, *Journal of Muscle Research and Cell Motility*. **15**: 237-255.
- Walker B. (1984) *Gums and stabilisers in food formulations*. In: Phillips G.O.; Wedlock D.J.; Williams P.A. (Eds.), *Gums and stabilisers for the food industry 2*, Elsevier Applied Science and Publishers, Barking, England
- Wierbicki, E., Kunkle, L.E. and Deatherage, F.E. (1957) Changes in the water-holding capacity and cationic shifts during the heating and freezing and thawing of meat as revealed by a simple centrifugal method for measuring shrinkage. *Food technol.* **11**: 69-73.

### Referencias Electrónicas

- Actina. (2015) Recuperado el 1 de diciembre de 2015, de:  
<http://www.botanica.cnba.uba.ar/>
- Conversión de músculo a carne. (2015) Consultado el 28 de noviembre de 2015, de:  
[http://qpc.adm.slu.se/6\\_Fundamentals\\_of\\_WHC/page\\_15.htm](http://qpc.adm.slu.se/6_Fundamentals_of_WHC/page_15.htm)
- Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad organoléptica de la carne de vacuno. (2015) Recuperado el 28 de noviembre de 2015, de:

<http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=5574>

FAO, Codex Alimentarius. 2016. Composición de la carne. Recuperado el 25 de febrero de 2016, de:

[http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html)

FAO. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Roma. Recuperado el 29 de octubre de 2016, de:

<http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s1x.htm#bm69x>

Lagares, J. (2010). Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero V: Cocción. Metalquimia. Recuperado el 23 de mayo de 2016, de:

<http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-13.pdf>

Llorenç F. (2010) Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero IV: Embutición y moldeo. Metalquimia. Recuperado el 4 de enero de 2016, de:

<http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-14.pdf>

Llorenç F. (2011) Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de musculo entero. Metalquimia. Recuperado el 4 de marzo de 2016, de:

<http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-12.pdf>

Miosina. (2015) Recuperado el 1 de diciembre de 2015, de:

[https://materianeurocienciasi.files.wordpress.com/2014/01/pdf-contraccion\\_muscular.pdf](https://materianeurocienciasi.files.wordpress.com/2014/01/pdf-contraccion_muscular.pdf)

Montalvo, C. (2011) Sistema locomotor. UNAM. Recuperado el 26 de febrero de 2016, de:

[http://histologiaunam.mx/descargas/ensenanza/portal\\_recursos\\_linea/apuntes/tejido\\_muscular\\_montalvo\\_2011.pdf](http://histologiaunam.mx/descargas/ensenanza/portal_recursos_linea/apuntes/tejido_muscular_montalvo_2011.pdf)

Narciso, C. (2013) Fisicoquímica y calidad de la carne. Recuperado el 10 de enero de 2016, de: [http://es.slideshare.net/usapeec\\_mexico/fisicoquimica-y-calidad-de-carne-materia-prima](http://es.slideshare.net/usapeec_mexico/fisicoquimica-y-calidad-de-carne-materia-prima)

Xargayó M., Lagares J., Fernández E., Borrell D. y Sanz D. (2007). Optimización del rendimiento por loncheado por medio de la tenderización. Metalquimia. Consultado el 29 de diciembre de 2015, de: <http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-4.pdf>

Xargayó, M. (2010). Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero III: Masaje. Metalquimia. Consultado el 4 de enero de 2016, de: <http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-15.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados de la determinación del porcentaje de mezcla de hidrocoloides

Se determinó la mezcla de hidrocoloides mediante la evaluación de la sinéresis cada uno de los sistemas donde se encontró que existe un efecto sinérgico en la muestra 4 que corresponde a un 70% de carragenina kappa y un 30% de goma de algarrobo, ya que se obtuvo un gel firme con menor porcentaje de sinéresis en comparación con las demás muestras. En cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos de la experimentación.

**Cuadro 13.** Resultados de sinéresis de los diferentes geles

Muestra	% Carragenina kappa	% Goma de algarrobo	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Sinéresis	Observaciones del sistema
1	100	0	45.06	43.45	3.57	Duro
2	90	10	36.55	34.15	6.57	Duro
3	80	20	46,27	44.07	4.75	Firme
4	70	30	48.80	47.91	1.82	Firme
5	60	40	41.57	38.16	8.20	Blando
6	50	50	46.34	46.16	0.39	Blando

La goma de algarrobo presentó sinergia con la carragenina kappa pues su funcionalidad fue estabilizar el gel que forma la carragenina kappa, ya que la carragenina forma geles quebradizos y con mayor sinéresis, por lo tanto, la goma de algarrobo ayudó a disminuir la sinéresis. Molina (2010) menciona que existe fuertes efectos con mezclas de algas de  $\kappa$ -carragenina con goma de algarrobo en la viscoelasticidad, así como también en la formación de redes tridimensionales.

### Anexo 2. Historia térmica y determinación del tiempo de cocción

