



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**“Efecto de las Proteínas de la Piel de Cerdo
Sobre la Textura de Salchichas”**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERIO AGROINDUSTRIAL

P R E S E N T A:

P. D. I. A. Edgar Garrido Castelán

Dirección: M. en C. Sergio Soto Simental

Tulancingo de Bravo, Hgo. Septiembre del 2006

Esta tesis de Licenciatura ha sido financiada en parte por el proyecto P/PIFI 2004-14-18 "Fortalecimiento de los programas educativos del área académica de Ingeniería Agroindustrial para asegurar la calidad de Ingeniería Agroindustrial y mejorar la calidad de Ingeniería en Alimentos".

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco y le doy mil gracias a Dios por haberme permitido concluir este trabajo y llegar a esta meta.

A mis padres, Froylán y Graciela les agradezco que siempre me hayan apoyado en todo.

A mis hermanos Luz María, Froylán, Norma, José Juan y Graciela por todos los momentos que hemos pasado juntos.

A mi asesor de tesis M. en C. Sergio Soto Simental, le agradezco el apoyo, la confianza y la dedicación que me brindo durante la realización de esta Tesis, y por depositar su amistad en mí, le doy mil gracias.

A la Dra. Irma Caro Canales, Dra. Norma Güemes Vera, M en A. Roberto González Tenorio, M. en A. Melitón Jesús Franco Fernández, a quienes agradezco su apoyo y atención que me brindaron durante la revisión de esta tesis.

A mis amigos y compañeros de la Universidad Omar, Otoniel, Vicente, Gabriel, Jahir, Rafael Lucio, Marcos y Enrique por haber compartidos esos momentos de alegría y momentos de desesperación.

DEDICATORIAS

Este trabajo de Tesis se lo dedico a mis padres al Sr. Froylán Garrido Gayosso y a la Sra. Graciela Castelán Rosales.

Con mi más profundo cariño y agradecimiento.

EDGAR

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUÁDROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
1 RESUMEN	viii
2 INTRODUCCIÓN	1
3 JUSTIFICACIÓN	3
4 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	4
4.1 Hipótesis	4
OBJETIVOS.....	4
4.1.1 Objetivo General	4
4.2 Objetivos Particulares	4
5 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
5.1 Estructura de la piel de cerdo	5
5.1.1 Histología.....	5
5.1.1.1 Epidermis o capa externa.....	5
5.1.1.2 Dermis o Corium	6
5.1.1.3 Endodermis o Tejido Conectivo.....	7
5.2 Proteínas de la piel	7
5.2.1 Composición química de la piel animal.....	7
5.2.2 Principales proteínas de la estructura de la piel de cerdo.....	8
5.2.2.1 Colágeno.....	8
5.2.2.2 Elastina	11
5.2.2.3 Albúmina	11
5.3 Propiedades Funcionales de las Proteínas.....	12
5.3.1 Propiedades de hidratación	13
5.3.2 Capacidad de Retención de Agua	13
5.3.3 Solubilidad	15
5.3.4 Viscosidad	16
5.3.5 Propiedades de interacciones entre proteínas.....	17
5.3.5.1 Gelificación.....	17
5.3.6 Propiedades de superficie	20
5.3.6.1 Capacidad emulsionante.....	20
5.3.6.2 Capacidad espumante	22
5.4 Productos cárnicos emulsionados.....	23
5.5 Textura de productos cárnicos.....	24
5.5.1 Fuerza al corte.	24
5.5.2 Análisis de perfil de textura en productos cárnicos	26
6 MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1 Localización del Experimento	31
6.2 Materia prima.....	31
6.3 Planteamiento del experimento.....	31
6.4 Caracterización del colágeno.....	31
6.5 Elaboración de la salchicha	32
La carne, la grasa y el hielo es la materia prima y tiene el 100%.....	33
Los ingredientes es en base al 100% de la materia prima.....	33
6.5.1 Proceso de elaboración de las salchichas	33
6.6 Variables de estudio.....	35

6.6.1	Análisis de perfil de textura.....	35
6.6.2	Fuerza al corte con la navaja Warner-Bratzler.....	36
6.6.3	Fuerza máxima detectada con la Celda de Kramer	37
6.7	Análisis estadístico.....	38
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
7.1	Efecto del pH sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.	39
7.2	Efecto de la molaridad del NaCl sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.....	40
7.3	Efecto del pH sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo.....	41
7.4	Efecto de la molaridad del NaCl sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo.....	42
7.5	Efecto del pH y molaridad del NaCl sobre la extracción de proteína y colágeno de la piel de cerdo.....	44
7.6	Efecto de la concentración de NaCl y pH sobre el análisis de perfil de textura de los geles formados por la extracción de proteínas de la piel de cerdo..	45
7.7	Efecto de la inclusión de proteínas extraídas de piel de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas utilizando la Navaja de Warner-Bratzler	47
7.8	Efecto de la inclusión de proteínas extraídas de piel de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas utilizando la Celda de Kramer	48
8	CONCLUSIONES	49
9	BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE CUÁDROS

CUÁDRO		PÁGINA
1	Contenido de Colágeno Total y Soluble, en diferentes Especies de acuerdo a varios Autores.	11
2	Definiciones y Análisis Dimensional de los Parámetros de la prueba de Warner-Bratzler (Modificada de Bourne, 1982).	26
3	Definiciones y Análisis Dimensional de los parámetros de la prueba de Análisis de Perfil de Textura (APT).	29
4	Composición Promedio de las Formulaciones Utilizadas.	32
5	Efecto de la Concentración de NaCl y pH sobre la Extracción de Proteínas y Colágeno de la Piel de Cerdo.	44
6	Efecto de la concentración del NaCl y pH sobre el Análisis de Perfil de Textura de los Geles formados por la Extracción de Proteínas de la Piel de Cerdo.	46
7	Efecto de la Inclusión de Proteínas extraídas de la Piel de Cerdo sobre la Textura de Salchichas utilizando la Navaja de Warner-Bratzler.	47
8	Efecto de la Inclusión de Proteínas Extraídas de la Piel de Cerdo sobre la Textura de Salchichas utilizando la Celda de Kramer.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Hidroxiprolina.	10
2	Análisis de Perfil de Textura (Curva APT).	27
3	Proceso de Elaboración de las Salchichas.	34
4	Análisis de Perfil de Textura.	35
5	Prueba de Fuerza al Corte con la Navaja Warner-Bratzler.	37
6	Celda de Kramer.	38
7	Efecto del pH sobre la Extracción de Proteínas de la Piel de Cerdo.	40
8	Efecto de la Molaridad del NaCl sobre la Extracción de Proteínas de la Piel de Cerdo.	41
9	Efecto del pH sobre la Extracción de Colágeno de la Piel de Cerdo.	42
10	Efecto de la Molaridad del NaCl sobre la Extracción de Colágeno de la Piel de Cerdo.	43

1 RESUMEN

La funcionalidad de las proteínas musculares define las características de calidad de los productos cárnicos y una de las propiedades más importantes es la capacidad de la emulsión, la gelificación y de ellas depende de la estabilidad de la textura. Es por ello, que el objetivo de este trabajo es determinar el efecto de las proteínas extraídas de la piel de cerdo sobre la textura de las salchichas. Se obtuvo colágeno de piel de cerdo y se utilizó una temperatura de 80 °C por un tiempo de 4 hrs, a diferentes pH y molaridades. Se determinó proteína soluble y colágeno. Posteriormente, se uso colágeno en diversas proporciones (0, 1, 2 y 3%) para la fabricación de salchichas, a las cuales se les determinó textura, usando la celda de kramer, la navaja de Warner-Bratzler y un análisis de perfil de textura. Los resultados que se obtuvieron indican que hay una interacción entre el pH y la concentración de NaCl utilizados, obteniendo niveles de proteína de 57.9% y colágeno de 5.31 mg/g. En cuanto a la textura se obtuvo que mejoró ($P>0.05$) la firmeza de las salchichas cuando se utilizó colágeno en la formulación.

ABSTRACT

Protein functionality give the quality characteristics of meat products and one of the most important properties is emulsion capacity, gelling due this both influence on the texture product. The objective of this work was determine the effects of proteins extracted from skin pork on the sausage texture. It was obtained collagen from skin pork using 80 °C for 4 h, pH and molarity. Soluble and collagen was determined. After that that collagen was used to prepare frankfurters. Texture using Kramer cell, Warner-Bratzler blade and a Perspex 2.5 cm diameter were determined. Results indicated an interaction between molarity and pH used to extract collagen, protein and collagen obtained were 57.9% and 5.31 mg/g, respectively. Frankfurters using collagen were higher ($P>0.05$) firmness than control.

2 INTRODUCCIÓN

En los últimos 25 años ha habido un creciente interés en el colágeno como un importante material biológico. Como el componente extracelular característico de los tejidos mesodérmicos, el colágeno ocupa una posición clave en la arquitectura molecular de especies de animales mayores lo que le permite ser el agente principal que controla la distribución de las fuerzas aplicadas tanto externa como dentro del organismo (Whiting, 1989).

Las ideas sobre la naturaleza química del colágeno tienen su origen en los primeros años del siglo XVIII. Sin embargo, hasta años recientes se ha puesto atención, ya que el colágeno juega un papel importante en la textura de la carne y de sus productos. La influencia del colágeno en la calidad de los productos cárnicos de pulverización y de gelatinización durante el cocimiento; además, contribuye al valor nutricional, sabor y grado de ternura de la carne (Whiting, 1989). Se ha utilizado colágeno de diversas fuentes como ingrediente para mejorar la retención de humedad y grasa en productos cárnicos (Webster *et al.*, 1982; Jobling, 1984).

El origen del colágeno, su forma física y el total de enlaces estables al calor podría también influenciar para conocer la cantidad de colágeno que puede ser usado en un producto cárnico molido. El colágeno puede ser refinado por lo que puede ser usado en alimentos cárnicos procesados para mejorar la funcionalidad de las proteínas inmovilizando en agua libre, incrementando la estabilidad del producto terminado (Prabhu y Doerschler, 2000; Prabhu *et al.*, 2004). Además se sabe que a bajos niveles el colágeno es efectivo en la reducción del encogimiento y el control de la textura en productos cárnicos. Adicionado generalmente incrementa la firmeza y la

jugosidad de las salchichas tipo Frankfurt (Jones, 1984), puede ser usado para reducir la gomosidad en las salchichas bajas en grasa. El departamento de agricultura de Estados Unidos a determinado que el colágeno de cerdo es efectivo en la reducción de pérdidas durante el almacenamiento y rendimiento después de la cocción en aquellos embutidos de carne cuyas normas permiten ligadores que pueden ser productos cárnicos curados de cerdos estandarizados y productos no estandarizados de cerdo y de ave (Whiting, 1989).

3 JUSTIFICACIÓN

La carne es uno de los alimentos que debido a su sabor, alto contenido de proteínas, o bien a la presencia de aminoácidos, péptidos y nucleótidos potenciadores del sabor, es bastante apreciado por los consumidores. Por ello se puede observar que en México se tuvo un consumo per cápita de 100.2 kg. en el año de 2003 (Gallardo, 2004). El alto valor nutritivo de la carne es tal vez menos obvio, sin embargo, cabe señalar que una de las principales deficiencias nutricionales en nuestro país es el bajo consumo de proteínas.

Por otro lado, el colágeno se utilizó a bajos niveles es efectivo en la reducción del encogimiento y el control de la textura en productos cárnicos. Así mismo, se ha utilizado el colágeno en forma nativa para reducción de costos, sustitución de grasa y modificación de textura sin afectar negativamente la calidad del producto terminado, sin embargo, no se han reportado datos sobre el uso de extractos crudos de proteínas de la piel de cerdo y su uso en productos emulsionados, ni su efecto sobre la textura de dichos productos. Además se han obtenido efectos positivos al incluir el colágeno soluble obtenido del tejido conectivo en diversos sistemas cárnicos como: productos reestructurados y emulsionados, donde se podría manipular el grado de hidratación del colágeno para obtener distintas propiedades de textura para facilitar operaciones como el rebanado o para mejorar la jugosidad de los productos sin causar un incremento de exudación durante el almacenamiento refrigerado.

4 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1 Hipótesis

1. La temperatura y el pH tienen un efecto sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.
2. La inclusión de colágeno en productos cárnicos mejora la textura de la salchicha.

OBJETIVOS

4.1.1 Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es obtener el efecto de las proteínas extraídas de la piel de cerdo sobre la textura de salchicha.

4.2 Objetivos Particulares

- 1.- Obtener la temperatura y tiempo necesario para la extracción de proteínas de la piel de cerdo.
- 2.- Obtener la mejor proporción de proteínas a utilizar en el mejoramiento de la textura de salchichas.
- 3.- Obtener el efecto de las proteínas de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas.

5 REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Estructura de la piel de cerdo

Se conoce como piel animal a la capa o tegumento que cubre el cuerpo de los animales protegiéndolos del medio ambiente, como son: cambios de clima, aire, polvo, agua, etc. (Aguirre, G. 1994).

5.1.1 Histología

La piel animal se compone de tres partes principales que son: Epidermis, Dermis y Endodermis.

5.1.1.1 Epidermis o capa externa

Tiene estructura celular y diversos estratos de células epiteliales autorreproductoras. Carece de vasos sanguíneos propios, nutriéndose de células de la sangre y la linfa de la dermis sobre la cual descansa. Las células epiteliales contribuyen no solo a la epidermis, sino así mismo a las glándulas pilosas, sudoríparas y sebáceas. La epidermis está compuesta por la proteína llamada queratina, que pertenece al mismo grupo de sustancias queratinosas que forman las uñas, garras, pezuñas, escamas y plumas. Las células de la capa más profunda de la epidermis están generando constantemente nuevas células. Crecen sin cesar hacia fuera empujando las células más viejas hacia la capa superior. Como esta última está desprovista de elementos nutritivos, se aplanan y se endurecen por efecto de la deshidratación. De ello es que acaban por secarse en forma de costras o caspa, fenómeno que se observa con particular frecuencia en el cuero cabelludo. Las

células de la capa mas profunda de la epidermis contienen gránulos de pigmentos que dan color al pelo y a la piel (Medina, 1991).

5.1.1.2 Dermis o Corium

Constituye la porción principal del tegumento (cubierta natural), que posteriormente se convierte en cuero curtido. La dermis esta compuesta principalmente por fibras de tejido conjuntivo. En ella se encuentran tres distintos tipos de tejido conjuntivo: Tejido colágeno o simplemente colágeno, Tejido elástico o elastina y Tejido reticular o reticulina. La mayor parte constituye el colágeno, siendo el principal elemento que entra en la formación del cuero. El corium puede subdividirse a su vez en dos capas: la termoestática o flor y la reticular o corium propiamente dicha. La flor es la parte superior del corium y contiene raíces capilares, glándulas y músculos. Solo constituye una pequeña parte de todo el corium. No obstante, varía con el tipo de piel, siendo, por regla general, mayor en las pieles y menor en los cueros gruesos. En la capa de la flor, las fibras conjuntivas son muy pequeñas y finas, apareciendo afieltradas de un modo muy compacto, sin presentar disposición sistemática manifiesta. La estructura de la flor que es la disposición de los poros pilosos es distinta en cada especie animal. La distinción se manifiesta en la superficie exterior del curtido, por lo que proporciona un medio fácil para identificar los curtidos hechos con pieles o cueros tan distintos como los de cabra, becerro, vaca, caballo, cerdo y perro. La capa reticular esta compuesta principalmente por fibras colágenas entretnejidas que se disponen en haces netamente definidos. A la capa reticular o corium propiamente dicho representa de un 75% a un 80% del

espesor total del cuero y de un 45 a un 50 % del espesor total de la piel (Medina, 1991).

5.1.1.3 Endodermis o Tejido Conectivo

Es el tejido conjuntivo laxo que une el corium a las partes subyacentes del organismo. Esta integrado principalmente por fibras de colágeno y elastina. Estas presentan una estructura de grasa. A esta capa suele ir unido en forma de apéndice un músculo retráctil. La grasa se encuentra en el tejido adiposo, su extensión, su localización depende de la raza del animal, de su edad y salud, de la temporada y de los pastos (Medina, 1991).

5.2 Proteínas de la piel

5.2.1 Composición química de la piel animal

La piel se compone principalmente de proteínas, pero como todas las materias biológicas, contienen también lípidos, carbohidratos, sales inorgánicas y agua. El grupo de los lípidos comprende triglicéridos situados en las células de grasa y pequeñas cantidades de ácidos grasos, fosfolípidos y vestigios de ceras en la región del grano. Las proteínas de la piel son los componentes principales en la fabricación del cuero. Las proteínas que están formando la piel son colágeno, que contiene la mayor porción fibrosa, la elastina también es una proteína fibrosa, esta en cantidad muy pequeña. La reticulina es otra proteína que se encuentra adherida al colágeno (Medina, 1991).

Los músculos muy pequeños que producen la erección de los pelos están hechos de miosina, que es una proteína muscular; esta se encuentra en cantidad

muy pequeña. Las proteínas globulares son: albúmina, globulina y muco-proteínas, son proteínas no fibrosas (Medina, 1991).

5.2.2 Principales proteínas de la estructura de la piel de cerdo

5.2.2.1 Colágeno

El diccionario Oxford, publicó en 1893, una definición simple de colágeno como “el constituyente del tejido conectivo que se convierte en gelatina cuando hierve”, la cual es suficientemente precisa como una base de referencia para los primeros estudios analíticos del colágeno, previo a 1940. El nombre descriptivo de “colágeno” proviene del vocablo griego (Κολλα = cola, aglutinante), tomando el sentido de producción. La palabra en inglés parece haber comenzado a usarse hacia 1865, cuando fue referida al Círculo de las Ciencias”, una enciclopedia acordando con las artes de la fabricación así como las ciencias puras, como el tejido que produce gelatina de huesos o “colágeno”.

El colágeno es una proteína que contiene aminoácidos de tipo ácidos, básicos y neutros (prolina e hidróxiprolina). En consecuencia, por el contenido de aminoácidos el colágeno tiene una reactividad química intermedia entre la elastina y las proteínas globulares. En soluciones neutras el colágeno es insoluble y no se descompone en una solución acuosa, mientras que en presencia de un ácido o de un álcali fuerte puede disolverse; es decir, que en este aspecto es menos inerte que la elastina. La cantidad de aminoácidos que componen cada proteína influyen en la naturaleza de las mismas y en consecuencia en sus pesos moleculares, que pueden variar entre 10,000 y 200,000 o más. En el caso del colágeno el peso molecular mínimo es de 40,000 de lo que se puede decir que una molécula simple de esta sustancia se

puede encontrar entre 500 y 1,000 aminoácidos. Como la ubicación de los aminoácidos en cada proteína sigue un patrón perfectamente definido, esta ubicación manteniendo una determinada secuencia, es una de las aptitudes de la célula viva a cargo de los genes que actúan durante la reproducción y que son estudiados por la genética (Frankel, 1991).

El colágeno es la proteína más abundante en el cuerpo de los mamíferos; constituye el 25% del total de la proteína del cuerpo y el 95% de los elementos fibrosos del tejido conectivo, aunque una gran cantidad esta asociada con el esqueleto (Pearson y Young, 1989). El colágeno es el componente principal de todos los tejidos conectivos de modo que la mayor parte de esta proteína esta localizada en estrecha asociación con el músculo, así como en los tendones, huesos, cartílagos, piel, tejido vascular y base de las membranas musculares tales como el epimisio, perimisio y endomisio. El colágeno ha sido clasificado bioquímicamente de acuerdo a su estructura y una composición de forma que se ha encontrado que cada clase de tejido contiene una composición característica del colágeno. El mayoritario ha sido clasificado como tipo I, que se encuentra como un componente gelatinoso del tendón, el tipo II es el principal componente del cartílago, el tipo III se encuentra en la piel y los tejidos vasculares. Los tipos de colágeno I, II y III, existen predominantemente en una forma fibrosa en la matriz extracelular (el colágeno tipo III dentro del músculo, llega a ser continuo con el tejido conectivo del tendón). Los tipos IV y V no forman las fibras tapiocas del colágeno, pero si finas redes que rodean a las membranas de las fibras musculares (Bandman, 1987).

El colágeno es rico en hidroxiprolina (Figura 1), que es un aminoácido muy poco frecuente en las proteínas, por lo que su cuantificación se usa comúnmente

para la determinación indirecta del contenido de colágeno de carne (Bonnet y Kopp, 1984). En las fibras del colágeno se encuentran también enlaces covalentes cruzados (Levene y Gross, 1959), tanto en las cadenas de la superhelice de tropocolágeno, como entre sus asociaciones formando fibrillas, las cuales hacen que aumente mucho su resistencia y estabilidad mecánica. Estos enlaces covalentes son reducibles en los animales jóvenes, propiedad que se va perdiendo con la edad de manera que en los animales maduros son totalmente estables, lo cual ayuda a explicar el efecto de mayor dureza en su carne (Sims y Boiley, 1981; Mc Cormick, 1994). El tropocolágeno es la unidad molecular de fibrillas de colágeno que consta de 3 unidades de polipéptidos repetidas y trenzadas de cabeza a cola, agrupadas en paquetes paralelos, es una proteína rica en glicina, prolina, hidroxiprolina e hidroxilisina.

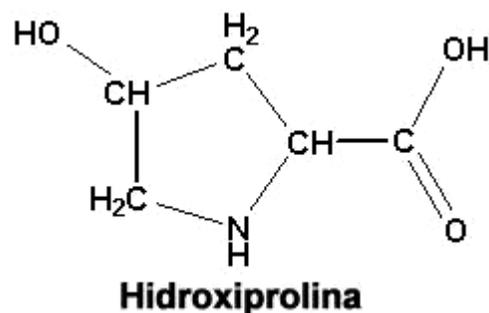


Figura 1. Hidroxiprolina (Bonnet y Kopp, 1984)

Actualmente existe poca información respecto al contenido de colágeno total y el colágeno soluble en carne de cerdo, Combes *et al.*, (2003) encontraron que el contenido total de colágeno en carne de cerdo de 105 días era de 17.0 mg/g (de músculo seco), similar al observado en *Longissimus lumborum* de cerdo (17 mg/g) y por Culioli *et al.*, (1990), en *pectoralis* de pollo de 52 días de edad (20mg/g). Sin embargo, la cantidad de colágeno soluble en carne cruda fue mucho más alta en

conejo (75.3_+8.1%), que en las otras especies *Longissmus lumborum* de cerdo (17%), *pectoralis* de pollo, (26%) y en *Longissmus lumborum* de bovina (19%) (Tabla 1)

Cuadro 1. Contenido de colágeno total y soluble, en diferentes especies de acuerdo a varios autores

Especie	Edad (días)	Colágeno Total (mg/g)	Colágeno Soluble (%)
Bovino	-	15-21	19.0
Cerdo	105	17.0	17.0
Pollo	52	20.0	26.0
Conejo	70	16.4	75.3

FUENTE: Bosselman *et al.*, 1995; Lebret *et al.*, 1998; Culioli *et al.*, 1990; Combes *et al.*, 2003.

5.2.2.2 Elastina

La elastina es una de las proteínas que presenta muy pocos grupos de aminoácidos ácidos y básicos y es sumamente inerte al ataque químico. Si se coloca un trozo de cuero recién curado en una solución de ácido clorhídrico 0.1N y se hierve bajo el reflujo, la estructura del cuero queda destruida, pero la red de elastina se mantiene intacta, debido a que no posee carga suficiente por unidad de masa como solubilizarse ni siquiera utilizando un ácido fuerte. Las fibras no tienden a mantenerse unidas ni acercarse y no necesitan estabilización química ni curtido para evitar su descomposición (Frankel, 1991).

5.2.2.3 Albúmina

La albúmina es una de las proteínas solubles que se caracteriza por su alto porcentaje de aminoácidos ácidos y básicos, por lo que se encuentra altamente ionizada, como las secciones cargadas ejercen entre ellas cierta atracción

electrostática, dan a la molécula una tendencia al repliegue sobre sí misma, formando glóbulos moleculares y las proteínas que los presentan se denominan proteínas globulares (Frankel, 1991).

5.3 Propiedades Funcionales de las Proteínas

Bourgeois y Roux (1986) definen a la propiedad funcional (o funcionalidad) de una sustancia alimenticia, como toda propiedad nutricional o no que intervenga en su uso alimentario.

La funcionalidad de una proteína puede ser comprendida de diferentes formas. En el organismo vivo, la función principal de las proteínas es dinámica, como puede observarse en la concentración de las proteínas miofibrilares o en la acción catalítica de las enzimas que intervienen en el funcionamiento de la célula. También se define como funcionalidad aplicada a las proteínas, a toda propiedad no nutricional que condiciona su utilidad en alimento (Borderías y Montero, 1998).

Las propiedades funcionales normalmente asociadas con proteínas como ingredientes de alimentos son: color, sabor, textura, suavidad, turbidez, solubilidad, hinchamiento, gelificación, retención de agua, sinéresis, viscosidad, emulsificación, estabilización, arenosidad, masticabilidad, adhesión y formación de fibra (Wilding, 1984).

Cuando la proteína se transforma en alimento, su papel es con frecuencia percibido desde el punto de vista nutricional. Sin embargo, estas proteínas cada vez son menos consumidas en su forma original, ya que son incorporadas en mezclas complejas donde la apetencia resulta de más importancia para el consumidor que el valor nutricional (Bourgeois y Roux, 1986).

5.3.1 Propiedades de hidratación

La conformación de las moléculas proteicas depende mucho de su interacción con el agua. Esta interacción depende de los grupos polares de la proteína, de la cantidad y de la actividad de agua. Entre las propiedades funcionales relacionadas con la hidratación, la humectabilidad y la capacidad de retención de agua, no necesitan de solubilización o dispersión de las moléculas para su determinación; la solubilidad y la viscosidad requieren la dispersión molecular y otras como la gelificación, floculación, capacidad de emulsión, capacidad espumante, etc., requieren, además de una gran dispersión e hidratación de las moléculas, que se produzcan interacciones proteína-proteína (Morrissey *et al.*, 1991).

A muy alta molaridad, no queda agua suficiente para interaccionar con las moléculas proteicas y predominan los enlaces proteína-proteína, por lo que se forman agregaciones y la proteína precipita (Borderías y Montero, 1998).

5.3.2 Capacidad de Retención de Agua

De acuerdo con Guerrero y Arteaga, (1996) definen la capacidad de retención de agua (CRA) como la capacidad que tiene la carne para retener el agua libre durante la aplicación de fuerzas externas, tales como el corte, la trituración y el prensado.

Es una de las propiedades funcionales mas utilizadas en la tecnología de los alimentos. Existen dos conceptos relacionados con la retención de agua: la absorción del agua por polvos proteicos y la capacidad de ligar agua, que indica el agua retenida por una proteína después de filtrar y aplicar presión o centrifugar (Borderías y Montero, 1998).

La capacidad de ligar agua varía dependiendo del tipo de proteína y su concentración, presencia de carbohidratos, lípidos, pH y sales. También puede estar influida por las condiciones del proceso previo, como el calor, entre otras. Normalmente, esta propiedad funcional se incrementa con la concentración proteica (Wilding, 1984).

La Capacidad de Retención de Agua (CRA) es particularmente importante en productos picados o molidos, en los cuales se ha perdido la integridad de la fibra muscular y por lo tanto, no existe una retención física del agua libre. En los productos procesados es importante tener una porción adecuada de proteína – agua, tanto para fines de aceptación organoléptica como para obtener un rendimiento suficiente en el peso del producto terminado (Guerrero y Arteaga, 1996).

El pH de la solución proteica tiene una influencia desigual en la capacidad de retención de agua, ya que se encuentran buena correlación entre los grupos hidroxilos (hidroxilos y carboxilos) y dicha propiedad funcional. Sin embargo, los grupos amida disminuyen la capacidad ligante. En las proteínas cárnicas, la capacidad ligante de agua es muy baja a pH 5, alrededor del punto isoeléctrico (cuando las cargas se encuentran iguales) (Morrissey *et al.*, 1991).

La fuerza iónica de la solución proteica también tiene importancia en la capacidad de ligar agua, dado que esta propiedad funcional se facilita por los puentes de hidrogeno que se forman entre grupos polares no ionizados y el agua todo factor disociante de los puentes iónicos o covalentes interrelacionados facilitarían la retención de agua (Borderías y Montero, 1998).

5.3.3 Solubilidad

Es probablemente la más importante de las propiedades funcionales. Algunas de las otras propiedades tales como capacidad espumante, gelificación y emulsificación son afectadas por la solubilidad (Wilding, 1984).

La solubilidad depende de los grupos hidrófobos (localizados en el centro de la molécula) que son impermeables al agua y de los hidrófilos (localizados en la superficie) siendo estos permeables al agua. En las moléculas, a medida que son mayores, existe tendencia a que decrezca la tasa entre residuos hidrófilos e hidrófobos, por los que se disuelven menos. Además, cuando el volumen de las moléculas se incrementa hasta el cubo de su radio, la superficie solo crece al cuadrado, lo que aumenta ligeramente la posibilidad de que los grupos polares se sitúen en la superficie, por lo que la solubilidad decrece inversamente a su volumen (Bourgeois y Roux, 1986).

Los valores de pH modifican la ionización y la carga neta de la molécula proteica, alterando las fuerzas atractivas y repulsivas entre las proteínas y la aptitud de estas últimas al asociarse con el agua. En el punto isoeléctrico las interacciones con el agua son mínimas al disminuir la carga; sin embargo, las interacciones proteína – proteína son máximas (Morrissey *et al.*, 1991).

La temperatura también interviene en la variación de las propiedades de hidratación, decreciendo generalmente cuando la temperatura se eleva a partir de un punto, a causa de la disminución de los enlaces de hidrogeno. Además, a determinada temperatura la proteína se desnaturaliza la molécula proteica, disminuyendo los grupos polares capaces de interactuar con el agua (Bourgeois y Roux, 1986).

El tipo de iones presentes y su concentración tienen un efecto significativo sobre la absorción de agua, hinchamiento y solubilidad de las proteínas, ya que se pueden crear enlaces competitivos. A concentraciones bajas de iones, la hidratación puede incrementarse, ya que los iones reaccionan con las cargas de las proteínas y reducen la atracción electrostática entre las cargas opuestas de grupos cercanos. Si la concentración de sales es superior a 1 M, la solubilidad de las proteínas disminuye y se puede llegar a la precipitación, ya que se establece una competencia entre la proteína y los iones salinos respecto a las moléculas de agua necesarias para su solubilización.

A muy alta molaridad, no queda agua suficiente para interactuar con las moléculas proteicas y predominan los enlaces proteína – proteína, por lo que se forman agregaciones y la proteína se precipita (Borderías y Montero, 1998).

5.3.4 Viscosidad

La viscosidad es el coeficiente de entre la fuerza de cizallamiento y la velocidad relativa de cizallamiento. Da una idea de la resistencia al flujo. Los principales factores que influyen en el comportamiento viscoso de una solución proteica son el diámetro y número de las moléculas dispersas (Borderías y Montero, 1998).

La viscosidad varía con una serie de factores como la concentración, el pH y la fuerza iónica. Con la concentración varía exponencialmente o de forma lineal, debido al aumento de interacciones proteína – proteína y al número de moléculas, por lo que estas adquieren mayor longitud.

Variaciones de la fuerza iónica, temperatura, adición de iones y agentes oxidantes, etc. Pueden originar la ruptura de los enlaces de hidrogeno, pudiéndose por lo tanto modificar la viscosidad de las soluciones o dispersiones proteicas. En general, el aumento de la fuerza iónica hasta un punto, indica un aumento de la viscosidad (Borderías y Montero, 1998).

5.3.5 Propiedades de interacciones entre proteínas

5.3.5.1 Gelificación

Los geles de proteína pueden ser definidos como una matriz tridimensional o redes, los cuales son interacciones de polímero-polímero y polímero-solvente que se encuentran de una manera ordenada, resultando en la inmovilización de largos transportes de agua para una pequeña proteína transportada de agua (Morrissey *et al.*, 1991).

Se entiende por gelificación la agregación de moléculas desnaturalizadas para dar forma a una red proteica ordenada. En la mayoría de los casos se necesita un tratamiento térmico como paso previo a la gelificación, aunque en muchos casos, esta se da sin calentamiento, gracias a una hidrólisis enzimática moderada, a la adición de iones de calcio, a la alcalinización seguida de neutralización o pH isoeléctrico. No siempre es necesaria la solubilización en un medio para que se produzca gelificación (Borderías y Montero, 1998).

La red proteica formada se considera como la resultante de un equilibrio entre las interacciones proteína – proteína y proteína – solvente y las fuerzas atractivas y repulsivas entre cadenas próximas. Entre las fuerzas atractivas se encuentran fundamentalmente las interacciones hidrófobos (maximizadas por temperaturas

elevadas), electrostáticas (puentes de calcio y otros iones disolventes), puentes de hidrogeno (maximizados por las temperaturas de refrigeración) y/o los puentes disulfuro. El grado de contribución de todas estas fuerzas varía, dependiendo de la naturaleza de la proteína, del medio y de las diversas etapas del proceso de gelificación. En general, las repulsiones electrostáticas y las interacciones agua - proteína tienden a separar las cadenas polipeptídicas, por esta razón, a pHs alejados del punto isoeléctrico, la formación del gel será menor. Por otro lado, las interacciones proteína – proteína tenderán a mantener la malla que determina el gel, por lo que la mayor concentración proteica de gel (Borderías y Montero, 1998).

La carga neta elevada (a pHs lejos del punto isoeléctrico) ocasiona que las moléculas se repelan y no se forme el gel ordenadamente, aunque el efecto de la concentración puede compensar las fuerzas de repulsión electrostáticas. Sin embargo en el punto isoeléctrico, las cadenas proteicas se atraen, de manera que las redes de proteína se compactan, por lo que el gel formado es elástico (Bourgeois y Roux, 1986).

Los geles estabilizados por puentes de hidrógeno suelen ser reversibles, mientras que los que se forman por enlaces disulfuro, son térmicamente irreversibles. Los enlaces disulfuro se incrementan con el calentamiento, al igual que también se fortalecen los grupos hidrófobos. Sin embargo, la formación de enlaces hidrógeno se desarrolla especialmente en la refrigeración (Borderías y Montero, 1998).

Los geles pueden incluir en su seno gran cantidad de agua, no solo de forma química, sino también físicamente, por lo que su expulsión es muy difícil. La razón que se supone más probable por lo que el agua queda ligada en un gel es a que consecuencia de la desnaturalización de las estructuras secundarias los grupos –

CO⁻ y – NH de los enlaces entre las cadenas de polipéptidos originan zonas, cargadas negativa y positivamente, respectivamente, a lo largo de las cadenas polipéptidos, creándose un sistema de capas de agua ligada. Después, cuando estas cadenas se interrelacionan por nuevos enlaces de hidrógeno, las moléculas se vuelven a plegar capturando el agua libre entre los nuevos pliegues.

En la gelificación existen 2 etapas, una primera de desnaturalización (primero disociación de la estructura cuaternaria, si existe, y después la terciaria y secundaria) y otra segunda, de agregación de las cadenas parcialmente desnaturalizadas (Morrissey *et al.*, 1991).

Cuando la etapa de agregación es lenta la relación con la desnaturalización da más tiempo a que todo el sistema se ordene, lo que favorecerá la formación de un gel homogéneo y resistente. Las proteínas según su composición en aminoácidos hidrófobos, se comportan de diversas formas con respecto a la gelificación. Cuando el número de enlaces hidrófobos es alto (31.5% en base a la molaridad), se precipitan por el calor, ya que se coagulan. Cuando el número de enlaces hidrófobos es bajo (30-32%), como en el caso de la gelatina, permanecen solubles cuando el calentamiento es débil, pero a más alta concentración forma un gel claro y termorreversible.

Las propiedades gelificantes de las proteínas alimentarias son una posibilidad interesante para la tecnología de alimentos. Tanto la gelificación de las proteínas miofibrilares como la del colágeno, son la fuente de una serie de productos que van desde los productos cárnicos hasta los dulces (Borderías y Montero, 1998).

5.3.6 Propiedades de superficie

Las propiedades funcionales de superficie más importantes son la capacidad emulsionante y la capacidad espumante. Estas propiedades están relacionadas con la capacidad que tienen las proteínas para disminuir las tensiones entre la fase hidrofílica e hidrofóbica de un alimento. Estas propiedades con frecuencia tienen mucha relación con la solubilidad (Borderías y Montero, 1998).

5.3.6.1 Capacidad emulsionante

Las emulsiones son dispersiones de dos líquidos no miscibles, uno de los cuales se encuentra bajo la forma de pequeñas gotas dispersadas y el otro es la fase continua dispersante. La mayoría de las emulsiones alimentarias son soluciones acuosas. El papel de las proteínas en estas emulsiones es el de formar una película entre las fases acuosa (polar) y grasa (apolar). La capacidad de interconectar estas dos fases será determinante en la formación de la emulsión (Borderías y Montero, 1998).

La capacidad de emulsificarse se define como la cantidad de grasa que puede emulsificarse en una pasta de carne; Guerrero y Arteaga (1996), esta es la característica básica de las salchichas y otros embutidos emulsificados.

Una emulsión es definida como un sistema heterogéneo constituido de un líquido inmiscible disperso íntimamente en forma de gotitas (Morrissey *et al.*, 1991).

La solubilidad de la proteína es un requisito importante para la formación de las capas entre las fases, ya que se necesita una rápida migración a la interfase y una absorción rápida a las fases. En general las moléculas de los grupos disulfuro son muy rígidas. En el caso de emulsiones alimentarias, la formación de la película

esta muy influida por el mecanismo formador de la emulsión, teniendo más importancia este hecho que la calidad de la proteína. Sin embargo, para que esa emulsión sea estable, es importante que la proteína confiera alta viscosidad a la interfase, ya que esto determina la velocidad con que glóbulos adyacentes se pueden aproximar (Borderías y Montero, 1998).

La inestabilidad de las emulsiones depende principalmente de tres fenómenos:

1. De la gravedad, las fases de distinta densidad tienden a separarse.
2. De la floculación (coagulación de un precipitado) de las partículas de la fase dispersa, cuando existen cambio de pH o de fuerza iónica aglomerándose el fenómeno de separación por densidades.
3. De la coalescencia o fusión de partículas, que es un fenómeno espontáneo, cuando por alguna razón, se rompe la fase acuosa intermedia de las partículas de aceite.

Si se estudia la capacidad de emulsión por unidad de proteína soluble, se observa que dicha propiedad disminuye a medida que la concentración proteica aumenta y viceversa, hasta un punto en que la capacidad de emulsión permanece constante. Este fenómeno se explica porque cuando la concentración proteica se hace menor, existe un desplazamiento de las cadenas de polipéptidos que se traduce en una mayor disposición de las moléculas a actuar como interfase en la emulsión (Borderías y Montero, 1998).

El pH tiene influencia sobre las propiedades emulsionantes de las proteínas entre otras causas porque cerca del punto isoelectrico la solubilidad disminuye

notablemente, por lo que disminuye la aptitud para la formación de emulsiones. En realidad, existe una relación crítica entre pH y fuerza iónica en la formación de emulsiones, ya que los aniones mejoran la capacidad de emulsión debido a que favorecen el desdoblamiento de las moléculas, incrementándose de esta forma el área efectiva como membrana interfase. Existen otros factores como la velocidad de adición de aceite, volumen de aceite, tipo de equipo utilizado en la fabricación de la emulsión, etc., que tienen un papel decisivo en el poder emulsionante (Borderías y Montero, 1998).

5.3.6.2 Capacidad espumante

Las espumas alimenticias son dispersiones de burbujas de gas en una fase continua líquida o semisólida. Entre las burbujas se sitúa una fase continua y forman barreras protectoras elásticas que evitan la coalescencia de las burbujas de aire. Las proteínas ejercen esta acción formando una película protectora que se absorbe a la interfase gas – líquido y que se compone de dos capas de proteínas y en medio una fina capa de fase continua (Morrissey *et al.*, 1991).

En la capacidad espumante hay que tener en cuenta tres factores: el poder espumante, la estabilidad de la espuma y la consistencia de la espuma. El primero se mide por la cantidad de espuma formada en un tiempo dado, y esta muy relacionada con la concentración proteica. La estabilidad se mide por el volumen de espuma en reposo en un tiempo dado, y la consistencia, midiendo la densidad de la espuma; estos dos índices están muy relacionados con la calidad de la proteína, (Borderías y Montero, 1998).

5.4 Productos cárnicos emulsionados

El proceso de elaboración de un embutido emulsionado / cocinado consta de cuatro pasos, estos son: 1) extracción, 2) hidratación y activación de las proteínas, 3) formación de la emulsión y 4) formación de un gel mediante el cocimiento del batido cárnico (Totosaus, 2002).

En el primer paso, se escoge el tipo de carne para elaborar el embutido, es decir: tipo de músculo (esquelético o no esquelético) tipo de fibra (roja o blanca). Posteriormente se reduce el tamaño del músculo, primero en un molino y luego en una picadora, este paso tiene como finalidad liberar las proteínas musculares (miofibrilares, sarcoplásmicas y del tejido conectivo). El segundo paso es la hidratación y activación de estas proteínas. El cloruro de sodio es adicionado a la formulación, seguido de nitrito de sodio, fosfatos y una parte de hielo. La agitación mecánica termina de romper el tejido y solubilizar las proteínas activándolas mediante las cargas de cloro (-) y sodio (+). La función de los fosfatos es elevar el valor de pH del sistema de un valor aproximado de 5.5 (dependiendo del tipo de músculo, especie y condiciones post-mortem de la carne) a cerca de pH 6.5.

La capacidad de retención de agua aumenta junto con la solubilidad de las proteínas. Si estas condiciones en el sistema no se cumplen la emulsión de grasa en el batido no podrá realizarse o será poco estable. En el tercer paso se forma la emulsión. Aquí se añade la grasa y otra parte del hielo para controlar la temperatura, la cual debe estar comprendida entre 8 y 16°C.

5.5 Textura de productos cárnicos

La textura de los alimentos está principalmente determinada por el contenido de humedad y grasa, el tipo y cantidad de proteínas y carbohidratos estructurales. Todas las pérdidas y cambios en estos componentes tienen una influencia importante sobre la textura (Aktas y Kaya, 2001).

La textura es un atributo resultado de la combinación de las propiedades físicas y químicas, estas incluyen el tamaño, la forma, el número, la naturaleza y el arreglo de los elementos estructurales constituyentes. Estas propiedades son el reflejo de la estructura microscópica del material. Así, el estudio de la estructura lleva a un mejor entendimiento de las propiedades físicas y de sus características de textura. Los seres humanos empleamos diferentes fuerzas de masticación dependiendo de las características de textura del alimento evaluado por lo que son necesarios diversos métodos de análisis de textura. La textura de los productos cárnicos puede ser detectada sensorialmente (Tornberg, 1996). Instrumentalmente la textura se ha determinado por la dureza de corte medida por una navaja de Warner-Bratzler, que indica los kilos de fuerza requeridos para cortar un centímetro cuadrado del músculo, realizando el corte en orientación perpendicular a las fibras musculares.

5.5.1 Fuerza al corte.

La fuerza al corte en los músculos crudos es a veces mayor que en los músculos cocidos. En el caso de los músculos que son más suaves cocidos que crudos, es probable porque contienen una cantidad substancial de tejido conectivo, el cual al calentarse a 68°C en presencia de humedad, gelatiniza y se hace más suave. En los casos donde el cocimiento no haya tenido éste efecto, el tejido predominante

es el miofibrillar (contráctil) y el aumento de fuerza se debe claramente al acortamiento de la proteína por efecto de valor (Velazco, 1999).

La fuerza de corte es una variable ampliamente utilizada para evaluar la textura de los productos cárnicos. La navaja Warner-Bratzler grafica la fuerza de corte para comparar las diferentes muestras. Se debe indicar la velocidad de compresión del mismo. Luego se obtiene una curva en la pantalla con las mediciones de textura calculadas por los picos de la curva y el área bajo la curva.

El ensayo de Warner-Bratzler es una prueba empírica utilizada para medir ternura en productos cárnicos. En este ensayo intervienen fuerzas de tensión, corte y compresión (Bourne, 1982). En términos de estructura su interpretación es compleja, ya que reflejan la suma de todas las fuerzas aplicadas, pero éstas no se distribuyen de manera uniforme entre todos los componentes de los productos cárnicos.

Cuadro 2. Definiciones y análisis dimensional de los parámetros de la Prueba de Warner-Bratzler (Modificada de Bourne, 1982).

Parámetro mecánico	Descripción	Variable	Unidades
Fuerza Máxima	Fuerza máxima alcanzada para el corte completo de la muestra (también relacionado con la resistencia debida a los componentes del tejido conectivo).	Presión	Kg/cm ²
Fuerza de Ruptura	Primer punto de ruptura de la gráfica de medición de textura, relacionado con los componentes miofibrilares.	Presión	Kg/cm ²
Pendiente Firmeza al corte	Es la inclinación de la parte recta de la curva que se obtiene en la prueba de Warner-Bratzler, trazada desde el origen hasta el punto de fuerza máxima.	Velocidad	Kg/s
Área	Trabajo total necesario para el corte completo de la muestra.	Trabajo	Kg.s

Kg=kilogramo; cm²=centímetro cuadrado; s=segundo

En el cuadro 2 se describen los parámetros mecánicos y las dimensiones en que generalmente se expresan los resultados de la prueba de Warner Bratzler.

De acuerdo a varios autores (Honikel, 1997; Moller, 1980; Poste *et al.*, 1993) el ensayo de Warner-Bratzler puede proporcionar información sobre las propiedades de textura.

5.5.2 Análisis de perfil de textura en productos cárnicos

Los parámetros de textura, definidos de acuerdo a Bourne (1982) y Texture Technologies (2002) fueron calculados en base a la Figura 2, de la siguiente manera:

- Dureza: máxima fuerza registrada durante la primera compresión, definida como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada. Depende de la

magnitud de la deformación seleccionada y está relacionada en muchos casos con la fuerza de la ruptura de la muestra.

- Cohesividad: relación del área de fuerza positiva durante la segunda compresión entre el área de la primera compresión ($Area1/Area2$). Es la suma de las fuerzas de unión internas que forman el cuerpo de la muestra.
- Adhesividad: área de la fuerza negativa, es el trabajo necesario para sobreponer las fuerzas atractivas entre la superficie de la muestra y la base del vástago ($Area3$).
- Elasticidad: altura que recobra la muestra durante el periodo de tiempo entre la primera compresión y el inicio de la segunda. Es definida como la tasa relativa a la cual un material regresa a su condición original antes de ser reformada ($Distancia2/Distancia1$).
- Resiliencia: definida como la energía acumulada en la muestra que le permite recobrar, hasta cierto punto su forma original. Es el resultado de la relación $Area5/Area4$.

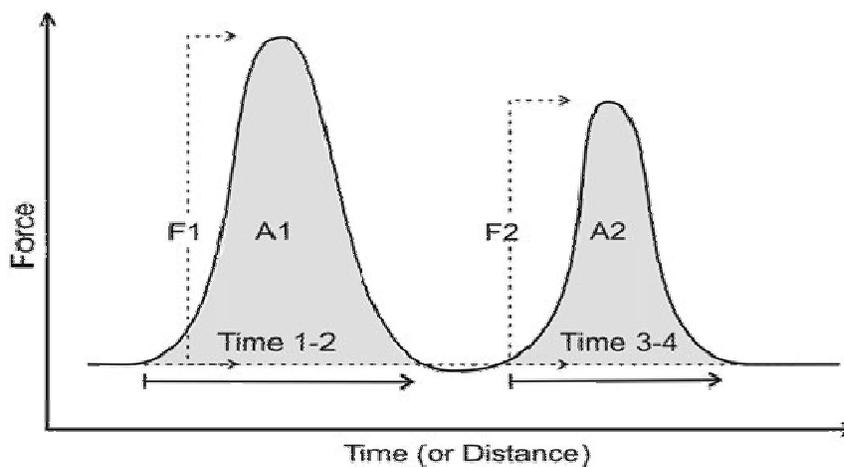


Figura 2. Análisis de Perfil de Textura (Curva de APT)

El APT es un excelente procedimiento instrumental para medir, cuantificar y desarrollar nuevos parámetros relacionadas con la textura, aunque la magnitud de estos parámetros será influenciada por las variables introducidas en las mediciones como la tasa de deformación (Peleg, 1976) y para que ellas puedan proveer información objetiva y que se pueda comparar es necesario ejecutar las mediciones bajo unas condiciones estandarizadas. La evaluación de dicho parámetro es empleada en el desarrollo de nuevos alimentos, en el mejoramiento de los existentes, en el control de los procesos de elaboración y en el control de la calidad, ya que muchas de las propiedades texturales de los alimentos como la firmeza, dureza, ternura, etc., y están directamente relacionadas con las propiedades mecánicas de los alimentos, es por ello que es importante su estudio y conocimiento para el control de calidad (Lu y Chen, 1998). Para determinar las propiedades texturales de los alimentos se usa una prueba empírica denominada Análisis de Perfil de Textura (APT), que consiste en una prueba de doble compresión en las cuales se someten muestras del producto a una compresión del 80 a 90% de su altura inicial, lo cual resulta casi siempre en la ruptura del alimento. Demonte (1995), cita los siguientes principales parámetros texturales obtenidos con el análisis de perfil de textura: Fracturabilidad, dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

El análisis de perfil de textura (APT) es uno de los ensayos de compresión más usados para alimentos. Con este análisis se obtiene el de fuerza que debe aplicarse para masticar un alimento, sometiendo una muestra, en dos ocasiones consecutivas, a una fuerza, simulando el esfuerzo de la mandíbula al morder. Empleando valores bajo las tasas de compresión (20%) de las muestras de carne, es

posible determinar el comportamiento de la estructura miofibrilar sin la intervención de tejido conectivo, debido a que las fibras se despliegan pero no han sufrido deformación y empleando tasas de deformación altas (80%), se determina la resistencia correspondiente al tejido conectivo (Lepetit y Culioli, 1994). Los parámetros de textura, definidos de acuerdo a Bourne (1978) y Szczesniak (1963) fueron calculados en base al cuadro 3 de la siguiente manera:

Cuadro 3. Definiciones y Análisis Dimensional de los parámetros de la prueba de Análisis de Perfil de Textura (APT)

Parámetro mecánico	Descripción	Variable	Unidades
Dureza	Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares. Altura Máxima del primer pico (primer ciclo de compresión y primera mordida).	Fuerza	Kg.m.s ⁻²
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento.	Relación	Adimensional
Elasticidad	La extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza.	Distancia	m
Adhesividad	El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie.	Trabajo	Kg.m ² .s ⁻²
Fracturabilidad	La fuerza a la que el material se fractura (Los alimentos frágiles nunca son adhesivos).	Fuerza	Kg.m.s ⁻²
Masticabilidad	La energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser ingerido.	Trabajo	Kg.m ² .s ⁻²
Gomosidad	La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que está listo para ser ingerido.	Fuerza	Kg.m.s ⁻²

Kg=kilogramo; m=metro; s=segundo

Con relación a las propiedades de los alimentos sólidos y semisólidos, (Szczesniak, 1995), propone que la Masticabilidad y la Gomosidad no deberían ser consideradas para ambos tipos de alimentos, debido a que cada grupo tiene características diferentes. Los productos semisólidos sufren una deformación permanente, por lo tanto no tienen elasticidad y es incorrecto cuantificar la Masticabilidad y la Gomosidad en APT de productos sólidos. De tal manera que para los productos sólidos, (Szczesniak, 1995) sugiere que se haga referencia a la Masticabilidad y que la Gomosidad se aplique a productos semi-sólidos.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del Experimento

La fase experimental se realizó en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el laboratorio de microbiología del Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

6.2 Materia prima.

Para la extracción de proteínas se utilizó piel de cerdo escaldada. La piel fue congelada hasta el momento de la extracción.

6.3 Planteamiento del experimento.

El presente trabajo se realizó en dos etapas, la primera consistió en determinar el tiempo, temperatura, molaridad y pH óptimos para la extracción de colágeno de piel de cerdo, y posteriormente caracterizarlo. Posteriormente, al encontrar los mejores parámetros planteados anteriormente, se obtuvo colágeno para incluirlo en la fabricación de productos cárnicos y observar su efecto sobre la textura. Para ello, se utilizaron 0, 1, 2 y 3% de colágeno en la formulación de salchicha.

6.4 Caracterización del colágeno.

Para caracterizar el colágeno se utilizó la siguiente temperatura (80 °C), un tiempo de (4 Hr.), a diferentes pH (6, 9, 12) y a diferentes molaridades (0.5, 1, 1.5 y 2). Se realizó una determinación de proteína soluble por medio del método de biuret,

Método para detectar urea y otras proteínas solubles del suero. En una solución alcalina, los iones de sulfato de cobre reaccionan con los enlaces peptídicos de las proteínas produciendo un color púrpura. La cantidad de proteína sérica de la solución estudiada se valoró por comparación de su color con los de una escala estandarizada, de concentraciones conocidas, posteriormente se hizo la determinación de colágeno, utilizando una digestión ácida y evaluando el contenido de hidroxiprolina (AOAC, 1999).

6.5 Elaboración de la salchicha

Para la elaboración de las salchichas se siguió una formulación tradicional. Los porcentajes de los ingredientes se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 4. Composición promedio de las formulaciones utilizadas.

Ingredientes	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Carne	40%	40%	40%	40%
Grasa	30%	30%	30%	30%
Hielo	30%	30%	30%	30%
Sal	10g	10g	10g	10g
Fosfatos	1.5g	1.5g	1.5g	1.5g
Nitritos	0.15g	0.15g	0.15g	0.15g
Fécula	2.5g	2.5g	2.5g	2.5g
Carragenina	1.5g	1.5g	1.5g	1.5g
Aislado de soya	5g	-	-	-
Colágeno	0g	5g	10g	15g

La carne, la grasa y el hielo es la materia prima y tiene el 100%.

Los ingredientes es en base al 100% de la materia prima.

6.5.1 Proceso de elaboración de las salchichas

Para este producto se preparó una formulación en base a nitritos, fosfatos, ligador, y se incluyó las diversas proporciones de colágeno y se mezcló con la carne de cerdo. Posteriormente se embutió y se coció hasta que alcanzó una temperatura interna de 72 °C por un tiempo de 55 minutos.

Las salchichas se elaboraron en las instalaciones del taller de tecnología de la carne del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

El proceso de elaboración de las salchichas se resume en la **Figura 3**.

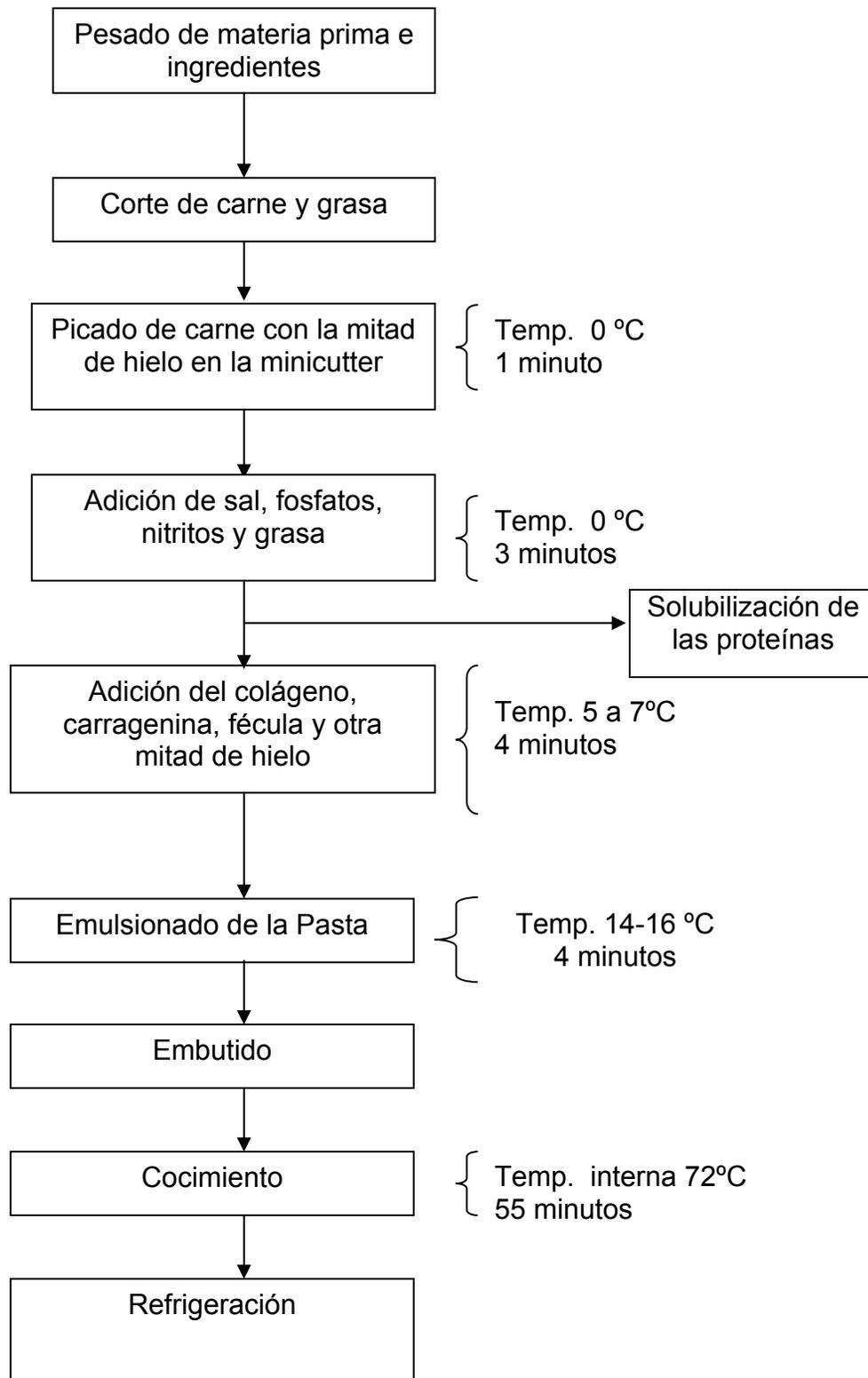


Figura 3. Proceso de elaboración de las salchichas

6.6 Variables de estudio

A la salchicha elaborada se le determinó la cantidad de colágeno, como se describe en AOAC (1999). Determinación de análisis de perfil de textura, Fuerza al corte con la navaja Warner-Bratzler y Fuerza máxima detectada con la Celda de Kramer de acuerdo a Totosaus (2001).

6.6.1 Análisis de Perfil de Textura.

Las salchichas se cortaron en piezas de 2 cm de alto y tenían un diámetro de 2 cm. Las muestras fueron comprimidas al 50% en un equipo analizador de textura modelo TA-HDi (Texture Technologies, New York, USA/Stable Micro Systems, Surrey, UK) (Figura 4), con una celda de carga de 50 Kg, y una sonda de acrílico de 2.5 cm. de diámetro, a una velocidad de 1mm/s comprimiendo las salchichas de aproximadamente de 2 centímetros en dos ciclos con un periodo de espera de 5 segundos entre cada uno, de acuerdo a lo reportado por Totosaus (2001).

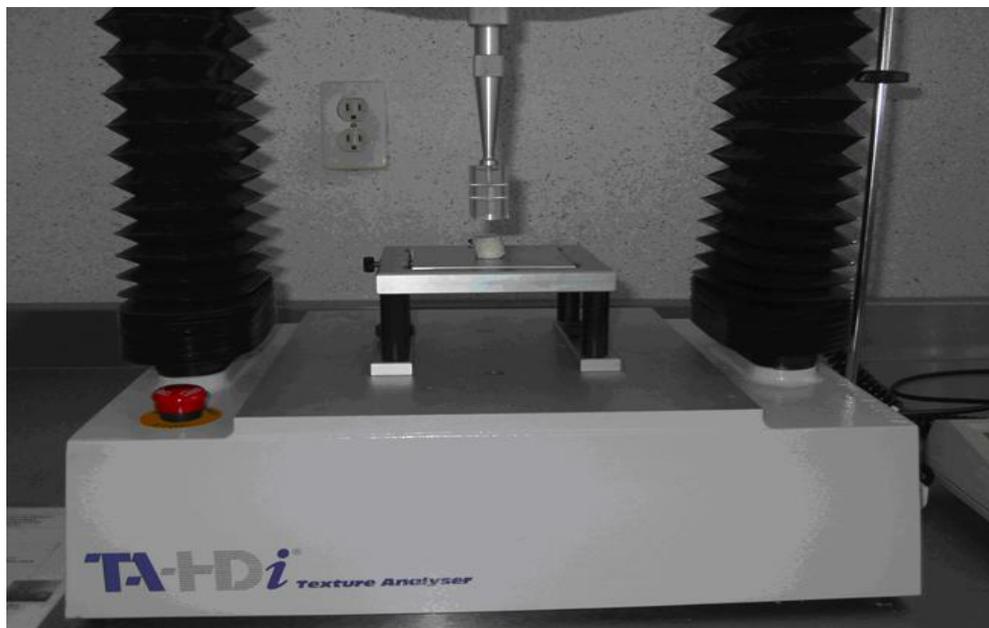


Figura 4. Análisis del Perfil de Textura

6.6.2 Fuerza al Corte con la Navaja Warner-Bratzler

Esta prueba de corte es definida como el deslizamiento de 2 partes contiguas de un cuerpo en una dirección paralela al plano de contacto, bajo la influencia de una fuerza tangencial a la sección en la cual actúa, esta denominación puede describir la acción de “corte”, causando la división del producto en dos piezas (De hombre y Abreu, 2001).

Para esta prueba se utilizó una navaja Warner-Bratzler adaptada al equipo analizador de textura TA-HDi, La muestra fue de 10 cm de longitud y se colocó horizontalmente entre la base de la celda y la lámina que efectuó el corte, la lámina baja verticalmente hasta lograr la completa penetración de la celda a lo ancho de la estructura de la salchicha. Se evaluó la resistencia al corte empleando una velocidad de prueba de 1 mm/s y velocidad de retroceso de 2mm/s con una celda de carga de 50 Kg y se efectuaron tres cortes en cada una de tres corridas hasta atravesar totalmente la muestra (Figura 5). Se estaba observando en la computadora las graficas que iba realizando el equipo de textura. Se reportó la fuerza máxima detectada durante la prueba además del esfuerzo de corte.

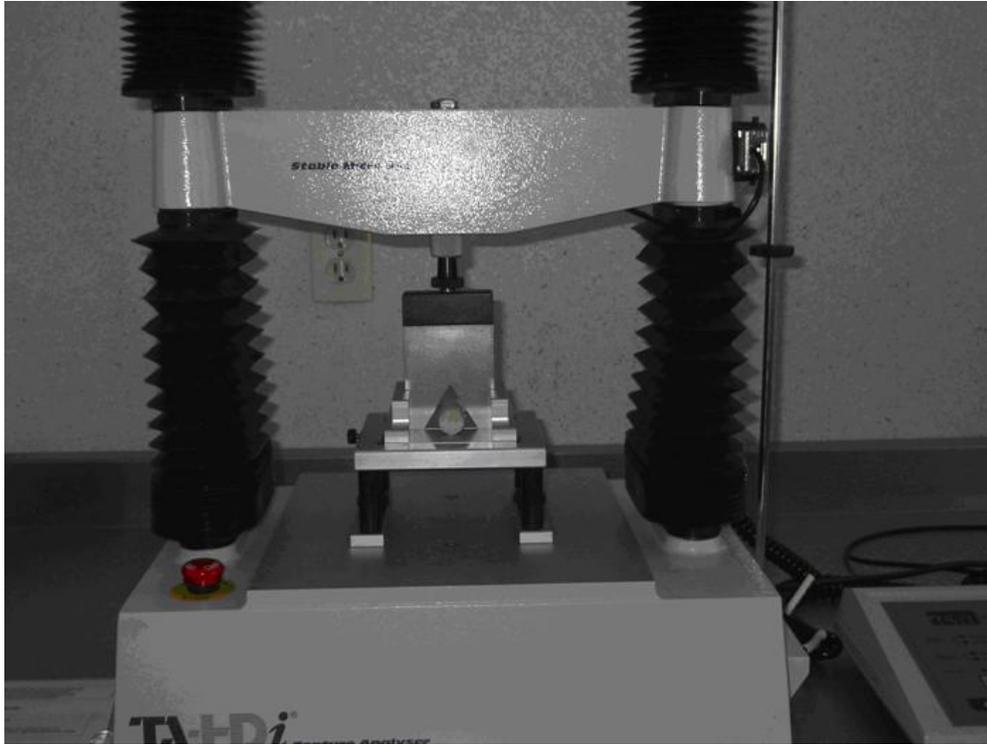


Figura 5. Prueba de Fuerza al Corte con la Navaja Warner-Bratzler

6.6.3 Fuerza Máxima detectada con la Celda de Kramer

En esta prueba se produce una combinación de compresión, extrusión y callamiento nos da una idea muy general de la homogeneidad o heterogeneidad de nuestro producto. Para esta prueba se utilizó una Celda de Kramer adaptada al mismo equipo analizador de textura TA-HDi, con una celda de carga de 50Kg y a una velocidad de 1 mm/s. La muestra se cortó en un trozo de 8 cm de longitud y se colocó de forma horizontalmente entre la base de la celda que efectúan el corte (Figura 6), la celda bajó verticalmente hasta lograr la completa penetración de la celda a lo largo de la estructura del producto. Se estaba observando en la computadora las gráficas que iba realizando el equipo de textura. Se reportó la

fuerza máxima detectada durante la compresión-extrusión por gramo de muestra. Los resultados son el promedio de al menos tres corridas reproducibles.



Figura 6. Celda de Kramer.

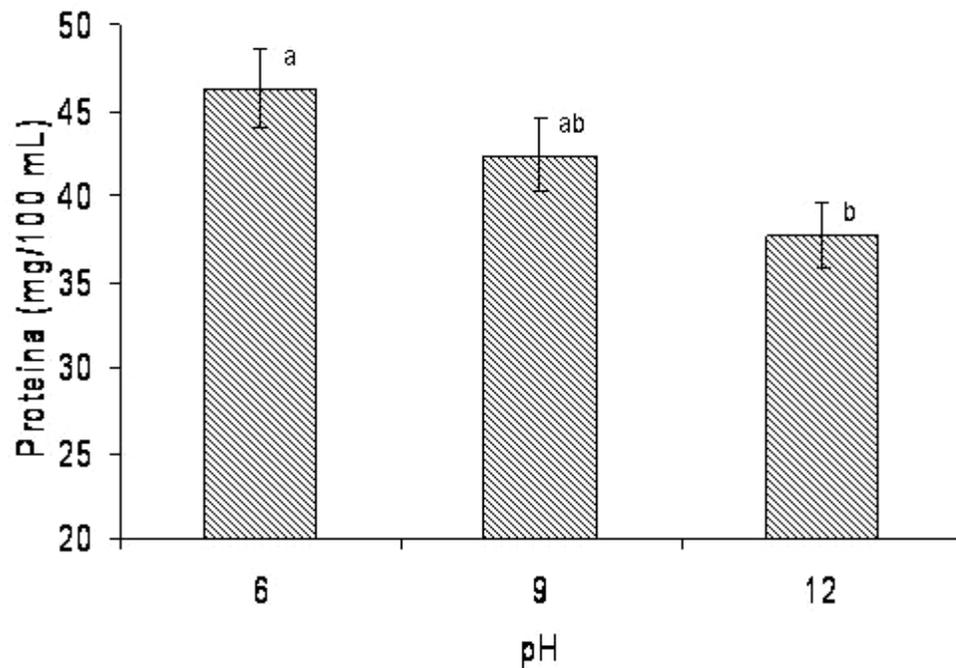
6.7 Análisis estadístico.

Para caracterizar el colágeno se realizó por medio de un diseño completamente al azar en un arreglo de factorial de $2 \times 2 \times 6$. En el caso de los productos cárnicos se realizó también bajo un diseño completamente al azar y un análisis de varianza para este modelo. En los dos casos se realizó una comparación de medias de Duncan y se utilizó el paquete estadístico SAS versión 8.0 para su análisis.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Efecto del pH sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.

En la Figura 7, se describe el efecto que tiene el pH sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo, en la cual se aprecia que el uso de un pH de 6 contribuye a obtener una mejor cantidad de proteína extraída (46.3%; $P < 0.01$), que al incrementarse el pH de la solución de NaCl se obtiene menos proteína. Cabe señalar que la obtención de proteína soluble de cualquier matriz depende de diversos factores, entre los que destaca el pH. Las proteínas tienen la capacidad de ser anfóteras y por lo tanto toman el pH de la solución en la cual se encuentran. Además, el pH está relacionado con el punto isoeléctrico, el cual para las proteínas asociadas a la piel es de 5.2. Bailey y Light (1989) mencionan que la hidratación del colágeno es baja en pH entre 6 y 8, y se incrementa en valores extremos. También dicen que el colágeno se desnaturaliza a 70 °C y con ello se consigue un incremento de dos veces la capacidad de retención de agua. Sin embargo, Smith (2001) reporta que el colágeno tiene una baja solubilidad en agua y sal, lo cual repercute en una baja ligación de moléculas.



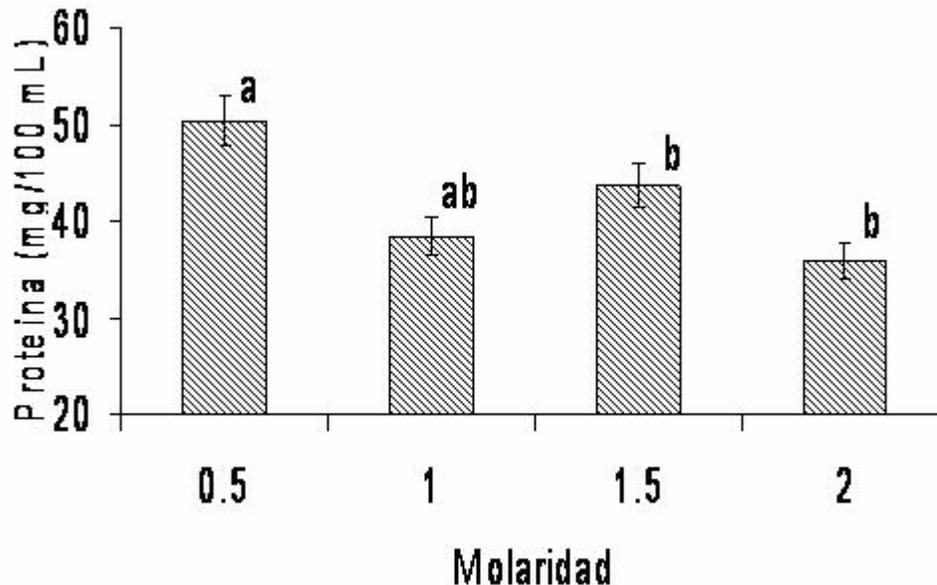
^{ab} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Figura 7. Efecto del pH sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.

7.2 Efecto de la molaridad del NaCl sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.

En la Figura 8, se describe el efecto que tiene la molaridad sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo, donde se puede observar que el uso de una molaridad de 0.5 mejora la cantidad de proteína extraída (50.4%; $P < 0.01$), cabe señalar que al incrementarse la molaridad de la solución de NaCl se obtiene menos proteína (35.9%). Sin embargo, que existe una interacción debido a la molaridad, pues cuando se utilizó una concentración de sal de 1.5 M (43.6%) se obtuvo mas proteína que con molaridades de 1 y 2. De Freitas *et al.*, (1997b) realizaron la

extracción de proteína de músculo semimembranoso utilizando 0.49M de NaCl, encontrando 23.6% de proteína, este valor esta por debajo de la obtenida en este trabajo, lo cual es evidente ya que la piel contiene una mayor cantidad de proteína, principalmente colágeno y elastina.



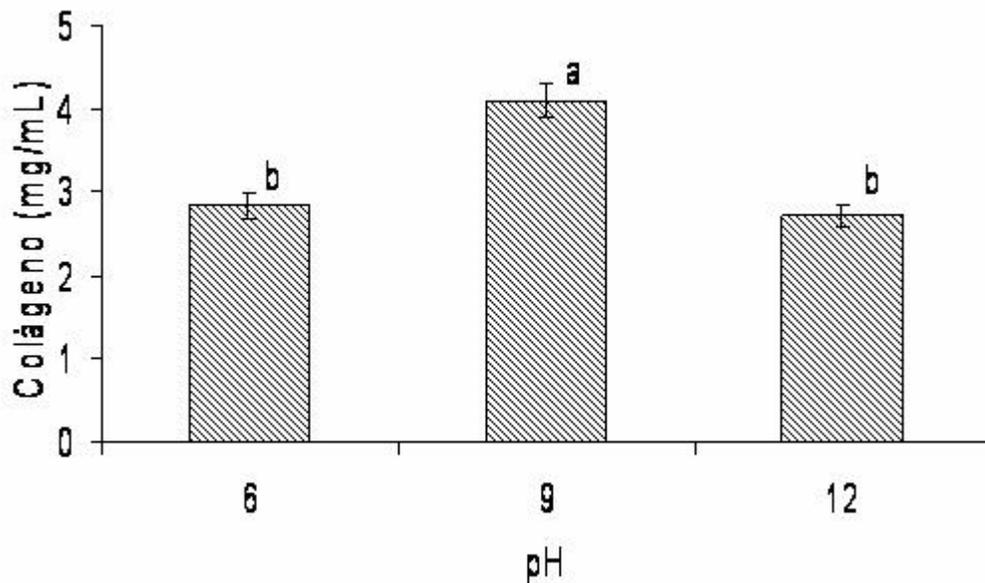
^{ab} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Figura 8. Efecto de la molaridad del NaCl sobre la extracción de proteínas de la piel de cerdo.

7.3 Efecto del pH sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo.

En la Figura 9, se describe el efecto que tiene el pH sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo, en la cual se observa que con el uso de un pH de 9 se obtuvo una mayor cantidad de colágeno extraído (4.08 mg/mL; $P < 0.01$), cabe señalar que al incrementarse o bien disminuir el pH de la solución de NaCl se obtiene menos colágeno (2.8 y 2.7 mg/mL, respectivamente). El colágeno total en el cerdo es de 17 mg/g con una solubilidad del 17%, basándose en la observación de este trabajo se

obtuvieron resultados o ligeramente superiores de colágeno soluble fueron obtenidos por (Combes *et al.*, 2003), cuando se modificó el pH a 9. Por su parte Gómez-Guillen y Montero (2001) utilizaron diferentes ácidos orgánicos para la extracción de colágeno de piel de pescado observado que la capacidad de gelificación depende del pH, del tipo de ácido utilizado en la extracción, cuando utilizaron pH de 4.5 a 5 encontraron que mejoró la fuerza del gel.



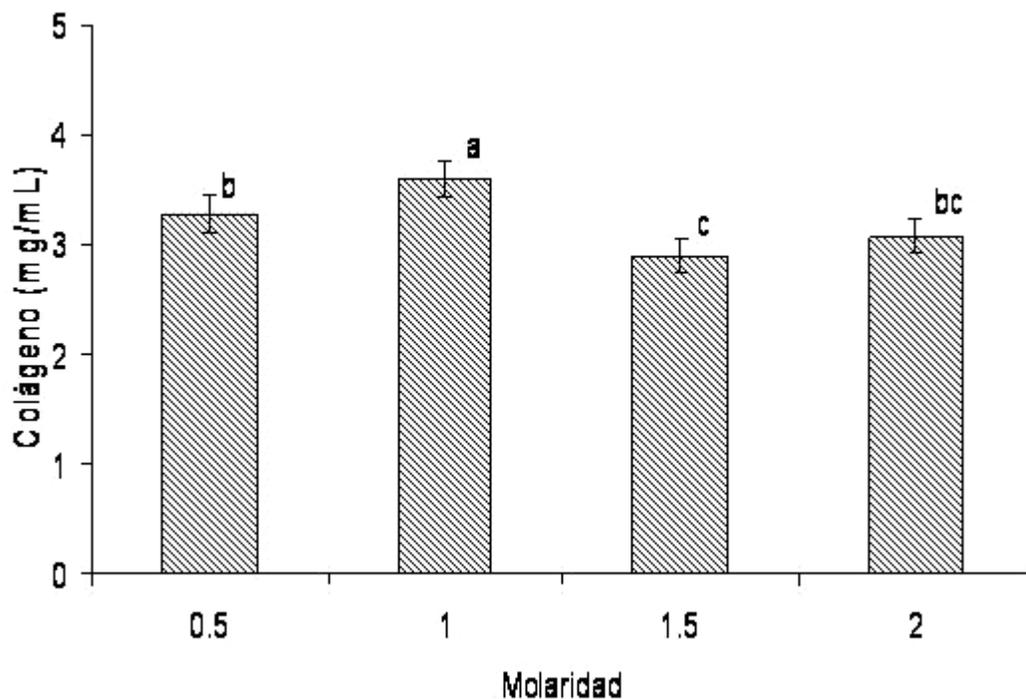
^{ab} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Figura 9. Efecto del pH sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo.

7.4 Efecto de la molaridad del NaCl sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo.

En la Figura 10, se describe el efecto que tiene la molaridad sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo, en la cual se aprecia que el uso de una

molaridad de 1 mejora la cantidad de colágeno extraído (3.59 mg/mL; $P < 0.01$), cabe señalar que al incrementarse la molaridad de la solución de NaCl a 2, se obtiene menos colágeno (3.07 mg/mL), en forma similar sucede cuando la molaridad es disminuida a 0.5, donde se encontraron valores de 3.2 mg/mL. Smith (2001) menciona que el colágeno tiene baja solubilidad en soluciones salinas, sin embargo la extracción de colágeno en este trabajo fue buena, lo cual puede ser un efecto sinérgico con la temperatura utilizada aquí (80 °C).



^{abc} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Figura 10. Efecto de la molaridad del NaCl sobre la extracción de colágeno de la piel de cerdo.

7.5 Efecto del pH y molaridad del NaCl sobre la extracción de proteína y colágeno de la piel de cerdo.

La interacción que sufre la obtención de proteína y colágeno de piel de cerdo por el pH y la concentración de NaCl, se puede observar en el Cuadro 5, en este se puede apreciar que la mayor concentración de proteína se dio con 0.5 M y pH de 6 (57.925) y la mayor concentración de colágeno se obtuvo con 0.5M y pH de 9 (5.31). Neklyudov *et al.*, (2004) reportan que la extracción de colágeno a partir de tejido subcutáneo de res y piel de cerdo con soluciones salinas hasta el 10% de cloruro de sodio a temperatura de 50 °C fue adecuada, además indican que el pH no tuvo efecto sobre la extracción de colágeno, lo cual se contrapone a lo aquí encontrado.

Cuadro 5. Efecto de la concentración de NaCl y pH sobre la extracción de proteínas y colágeno de la piel de cerdo.

Molaridad	pH	Colágeno (mg/g)	Proteína (%)
Promedio ± DE			
0.5	6	1.99 ± 0.26	57.92 ± 11.84
0.5	9	5.31 ± 0.41	41.17 ± 0.45
0.5	12	2.52 ± 0.00	52.14 ± 4.00
1.0	6	3.47 ± 0.00	28.98 ± 7.84
1.0	9	3.11 ± 0.01	44.75 ± 2.91
1.0	12	4.20 ± 0.02	41.86 ± 8.00
1.5	6	3.21 ± 0.40	47.07 ± 7.79
1.5	9	3.48 ± 0.01	35.15 ± 3.07
1.5	12	1.99 ± 0.26	48.77 ± 8.18
2.0	6	2.68 ± 0.19	35.60 ± 2.02
2.0	9	4.41 ± 0.36	29.78 ± 3.24
2.0	12	2.12 ± 0.09	42.34 ± 8.85

Los mayores valores se indican en negritas.

7.6 Efecto de la concentración de NaCl y pH sobre el análisis de perfil de textura de los geles formados por la extracción de proteínas de la piel de cerdo.

En el Cuadro 6, se muestran los resultados obtenidos del análisis del perfil de textura de los geles de proteínas de la piel de cerdo. La fuerza máxima del gel formado por las proteínas de piel de cerdo se observaron diferencias ($P < 0.05$) para los tratamientos, teniendo que los geles con mayor firmeza fueron aquellos en los cuales se uso concentraciones elevadas de sal y pH elevado, mientras que aquellos que presentaron menor fuerza del gel fueron los de pH bajo y bajas concentraciones de NaCl, se ha observado que los geles formados con hidrocoloides tienen una interacción con los iones utilizados (K, Ca) lo que hace disminuir la fuerza de los geles (León, 2005). Así mismo, los geles que presentaron valores más altos de adhesividad fueron los primeros mencionados, además los de menor adhesividad fueron los geles de las proteínas extraídas con pH bajos y bajas concentraciones de sal. La resiliencia mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, observándose que a menor concentración de sal y bajo pH se obtuvieron mayores valores de esta variable. La cohesividad también mostró diferencias ($P < 0.05$) teniendo un comportamiento similar al de la resiliencia, en lo que se refiere a la elasticidad no se observó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos. León (2005) reporta que la elasticidad y cohesividad disminuye en salchichas preparadas con carragenina adicionados con diversas sales con el fin de disminuir el contenido de sal y grasa en salchichas. Sin embargo, Velásquez (2002) reporta diferencias en la cohesividad y elasticidad de las muestras analizadas, lo cual al

parecer es una inconsistencia en los resultados, dado que estos dos trabajos fueron realizados prácticamente bajo las mismas condiciones, lo cual hace pensar que existe una interacción dada por la proporción de grasa, la carragenina y las sales utilizadas para estabilizar el gel formado.

Cuadro 6. Efecto de la concentración de NaCl y pH sobre el análisis de perfil de textura de los geles formados por la extracción de proteínas extraída de la piel de cerdo.

Tratamiento	Fuerza máxima	Adhesividad	Resilencia	Cohesividad	Elasticidad
1	47.34 ^c	-8.97 ^a	0.7750^a	0.7825^a	0.9927^a
2	107.65 ^c	-10.52 ^a	0.6913 ^{ab}	0.7124 ^{ab}	0.9926 ^a
3	117.39 ^{ab}	-12.38 ^a	0.6718 ^{ab}	0.6853 ^{ab}	0.9886 ^a
4	138.75 ^{ab}	-16.97 ^a	0.6497 ^{ab}	0.6247 ^{ab}	0.9825 ^a
5	113.89 ^{ab}	-22.23 ^a	0.6460 ^{ab}	0.6245 ^{ab}	0.9818 ^a
6	79.30 ^{bc}	-23.03 ^{ab}	0.6445 ^{ab}	0.5750 ^{ab}	0.9774 ^a
7	115.30 ^{ab}	-33.62 ^{ab}	0.6130 ^{ab}	0.4730 ^{abc}	0.9617 ^a
8	168.27^a	-39.97 ^{ab}	0.5450 ^{ab}	0.4358 ^{bc}	0.8787 ^a
9	152.13 ^a	-52.14^b	0.4585 ^b	0.2565 ^c	0.8439 ^a

^{abc} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa (P<0.01).

Los mayores valores se indican en negritas.

7.7 Efecto de la inclusión de proteínas extraídas de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas utilizando la navaja de Warner-Bratzler.

En el cuadro 7, se muestran los resultados obtenidos de textura utilizando la navaja Warner-Bratzler, se encontró diferencias significativas ($P < 0.05$) en la firmeza, mas no así en el esfuerzo al corte ($P > 0.05$). Las salchichas que fueron fabricadas con 3% de proteínas de piel de cerdo tuvieron la menor firmeza. Estos resultados son similares a los reportados por Schilling *et al.*, (2005), quienes reportan que la adición de 1.5% de colágeno de pollo, en productos de pollo, no encontraron diferencias en la unión de proteína - proteína, concluyendo que el colágeno puede mejorar la funcionalidad de la proteínas. También, Prabhu *et al.*, (2004) reportaron que no existe diferencia entre los tratamientos utilizados en la fabricación de jamón y salchicha, sin embargo observaron que a medida que se incrementaron los niveles de colágeno en el producto se incrementaron los valores de fuerza máxima al corte.

Cuadro 7. Efecto de la inclusión de proteínas extraídas de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas utilizando la Navaja de Warner-Bratzer.

Tratamiento	Fuerza máxima (g)	Esfuerzo al corte (g/s)
0	759.41 ^a	9374 ^a
1	776.49^a	9604^a
2	717.81 ^a	9533 ^a
3	522.37 ^b	7589 ^a

^{ab} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Los mayores valores se indican en negritas.

7.8 Efecto de la inclusión de proteínas extraídas de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas utilizando la celda de Kramer.

Los resultados de fuerza máxima y esfuerzo al corte utilizando la celda de kramer se encuentran en el Cuadro 8. En él se puede observar que existió diferencias significativas ($P < 0.05$) para ambos parámetros. La firmeza resultó ser la mas alta con la inclusión de 3% de proteínas de piel de cerdo, sin embargo el esfuerzo al corte fue mayor en las salchichas testigo. Lo anterior indica que las salchichas con colágeno son mas firmes, pero se requiere menos esfuerzo para el corte que aquellas en las cuales no se utilizó colágeno, esto puede ser debido a que el incremento en la proporción de colágeno mejora la funcionalidad e interacción de las proteínas en el producto. Daigle (2005) encontró que la adición de colágeno a productos de pollo incrementa la energía total y fuerza máxima. Por otro lado, Kenney *et al.*, (1992) reportan que se mejora la fuerza en productos de res reestructurado quizás debido a que el colágeno ayuda en la formación del gel. Mientras que Schilling *et al.*, (2003) encontraron que el uso de colágeno, incrementó la unión proteína y proteína utilizando carne Pálida, Blanda, Exudativa (PSE).

Cuadro 8. Efecto de la inclusión de proteínas extraídas de la piel de cerdo sobre la textura de salchichas utilizando la celda de kramer.

Tratamiento	Fuerza máxima (g)	Esfuerzo al corte (g/s)
0	10377 ^b	121354^a
1	12129 ^b	133281 ^a
2	9671 ^b	115689 ^{ab}
3	29809^a	83794 ^b

^{ab} Literales distintas entre hileras indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Los mayores valores se indican en negritas.

8 CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que la mayor obtención de proteínas y de colágeno de la piel es cuando se utiliza 0.5 M de NaCl.
2. Además, el uso de soluciones de NaCl con pH 6 es posible obtener una mayor cantidad de proteína, sin embargo la cantidad de colágeno es mejor cuando se uso un pH de 7.
3. También se obtuvieron geles de colágeno mas firmes cuando se utilizó pH alcalinos y concentraciones de NaCl mayores.
4. El uso de 3% de colágeno disminuye la firmeza de las salchichas cuando se utiliza la navaja Warner-Bratzler, mas no así cuando se utiliza la celda de Kramer.
5. En general, al utilizar la celda kramer y la navaja de Warner Bratzler para observar la dureza de las salchichas se observo que el colágeno incrementa dicho parámetro.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, G., 1994. Curso Básico de Tecnología Química del Cuero Curtido al Cromo, Centro de Investigación y Asistencia Tecnológico del Estado de Guanajuato Asociación Civil. (CIATEG a.c.) León Gto, México.
2. Aktas N. y Kaya M., 2001. The influence of marinating with weak organic acids and salts on the intramuscular connective tissue and sensory properties of beef. *European Journal of Food Research and Technology* 213:88-94.
3. AOAC, 1999. Official Methods of Analysis of AOAC International 16th Ed. 5th revision CD-ROM.
4. Bailey, A.J. and Light, N.D. 1989. In *Connective Tissue in Meat and Meat Products*. Ch. 10, pp. 225-247. Elsevier Applied Science, New York, pp. 95, 225-247.
5. Bandman, E. 1987. Chemistry of animal tissues. Part I. Proteins. En: *The Science of Meat and Meat Products*. Eds.: Price, J. F Schweigert. B.S. pp. 61-102.
6. Bonnet, M, and Kopp, J. 1984. Dosage du collagene dans les tissues conjonctifs, la viande et les produits carnes. *Cah Techn. INRA*, pp. 5, 19-30.
7. Borderías, A. J y P. Montero, 1998. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*. 28 (2): 159 – 169.
8. Bosselman, A., Moller, C., Steinthart, H., Kirchessner, M Schwarz, F.J. 1995. Pyridinoline cross-links in bovine muscle collagen. *Journal of Food Science*, pp. 60(5), 953-958.
9. Bourgeois, C. M. Y Roux. 1986. *Proteínas Animales*. Editorial Technique Documentation Paris, Francia.
10. Bourne, M. C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*. pp 32, 62-72.
11. Bourne, M.C. 1982. *Food Texture and Viscosity*. Academic Press. New Yory.
12. Combes, S., Larzul, C., Gondret, F., Cauquil, L., Darce, B. Lebas, F. 2003. Tendreté, mécanique du muscle *Longissimus dorsi* de lapin: étude méthodologique. In *9emes. Journ. Rech. Cunicole*. Paris. pp. 3-6.

13. Culioli, J., Touralle, C., Bordes, P. Girad J. P. 1990. Caractéristiques descarcasses et de la viande du paulet "label fermier". Archiv Fur Geflugelkunde. pp 54, 237-245.
14. Daigle, S.P. 2005. PSE Poultry Breast Enhancement through the Utilization of Poultry Collagen, Soy Protein, and Carrageenan in a Chunked and Formed Deli Roll. MSc Thesis. Virginia Polytechnic Institute. Blacksburg, Virginia.
15. De Freitas, Z., J.G. Sebranek, D.G. Olson, & J.M. Carr. 1997. Carrageenan Effects on Salt-Soluble Meat Proteins in Model Systems. Journal of Food Science. pp. 62(3):539-543.
16. DeFreitas, Z., J.G. Sebranek, D.G. Olson y J.M. Carr, 1997b. Carrageenan effects on SALT-soluble meat proteins in model systems. Journal of Food Science. pp.62 (3): 539-543.
17. De Hombre y Abreu, 2001. Textura de sólidos y semisólidos, en Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de los Alimentos. Alvarado y J. M. Aguilera, editores. ACRIBIA, Zaragoza, España. pp.109-134
18. Demonte, Philippe, 1995. Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de orrelaciones con medidas instrumentales, memorias de seminario textura y reología de alimentos, Cali, Abril 20 de 1995.
19. Frankel, A. M., 1991. Tecnología del Cuero. Editorial Albastros, Argentina. pp. 324, 160-163.
20. Gallardo, J.L. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2004. SAGARPA. <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg>.
21. Gómez-Guillen, M.C. & P. Montero. 2001. Extraction of Gelatin from Megrim (*Lepidorhombus boscii*) Skins with Several Organic Acids. Journal of Food Science. pp. 66(2):213-216.
22. Guerrero, L. I. y Arteaga, M. M. R. 1996 "Tecnología de Carnes". Editorial Trillas, pp. 54-55.
23. Honikel, K.O. 1997 Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. *Food Chemistry*, 59: 4, 573-582.
24. Jobling A. 1984. New applications for collagenous proteins in meat products. Journal of Food Science Agric. pp. 35:1264.

25. Jones KW. 1984. Collagen properties in processed meats. Proc. Meat Ind. Research Conf.; Chicago, Ill. Washington, D.C.: American Meat Science Assoc, pp 18.
26. Kenney, P.B., Kastner, C.L., and Kropf, D.H. 1992. Raw and preheated epimysium and gelatin.
27. Lebet, B., Listrat, A Clochefert, N. 1998. Age-related changes in collagen characteristics of porcine loin and ham muscles. En: *Proceedings 44th. International Congress of Meat Science and Technology*, Barcelona, Spain. Vol. II, pp. 718-719.
28. León Gutiérrez, J.R. 2005. Relación de la microscopía, calorimetría diferencial de barrido y textura de salchichas bajas en grasa y sodio utilizando kappa-carragenina y otras sales. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hgo. México.
29. Lepetit J. and Culioli J. 1994 Mechanical properties of meat. *Meat Science*, pp. 36, 203-237.
30. Levene C.I. and Gross, J. 1959. Alterations in state of molecular aggregation of collagen induced in chick embryos by B-amonopropionitrile (Lathy us factor). *J Expect. Med.*, pp. 110-771.
31. Lu renfe and Chen Yud Ren, 1998. Characterization of nonlinear elastic properties of beef products under large deformation, *Transactions of the ASAE*, 41(1), pp. 163-168.
32. Mc Cormick, R.J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Science*, pp. 36, 79-91.
33. Medina, R., 1991. Curso: Proceso y Caracterización de Pieles Curtidas (Análisis de Variable Implicada en Curtición Vegetal), Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
34. Moller, A. 1980. Analysis of Warner-Bratzler shear force pattern with regard to myofibrillar and connective tissue components of tendemess. *Meat Science*, pp. 5, 247-260.

35. Morrissey, P.A., Mulvihill D. M. and O'Neill, M. E. 1991. Functional Properties of Muscles Proteins, In "Developments in Food Proteins 7" B.J.F. Hudson, ed. Elsevier Applied Science Publishers, London, pp. 125-161.
36. Neklyudov, A. V. Berdutina, A. N. Ivankin, S. I. Mitaleva and E. A. Evstaf'eva. 2004. Collagen Fractions Obtained by Water-Salt Extraction from Raw Materials of Animal Origin. *Appl. Bioch. Microbiol.* pp. 39(4):426-430.
37. Pearson, A.M. Young, R.B. 1989. Composition and Structure Cap. I y Skeletal Muscle fiber types Cap. 9. En: *Muscle and meat Biochemistry*. Academic Press, London. pp. 235-265.
38. Peleg, M. 1976. Texture profile analysis parameters obtained by an INSTRON universal testing machine, *Journal of Food Science*, pp. 41(3), 721-722.
39. Poste, L.M.; Butler, G.; Mackie, D.; Agar, V. E.; Thompson, B.K.; Cliplef, R.L. and McKay, R.M. 1993. Correlations of sensory and instrumental meat tenderness values as affected by sampling techniques. *Food Quality and Preference*, pp. 4, 207-214.
40. Prabhu G, Doerscher D, Hull D, Schoenberg E. 2000. Pork collagen—product characteristics and applications in meat products. Proc. of the Institute of food echnologists annual Meeting; Dallas, Tex.; June 10-14. IFT Proc Abstr 64-2. pp. 129.
41. Prabhu, G.A., D.R. Doerscher & D.H. Hull. 2004. Utilization of Pork Collagen Protein in Emulsified and Whole Muscle Meat Products. *Journal of Food Sciencie* pp. 69(5):388-392.
42. Schilling, M.W., Mink, L.E., Gochenour, P.S., Marriott, N.G., and Alvarado, C.Z. 2003.
43. Schilling, M.W., S.P. Daigle, C.Z. Alvarado, N.G. Marriott & H. Wang. 2005. Effects of collagen addition on the functionality of PSE-like and normal broiler breast meat in a chunked and formed deli roll. *Journal of Muscle Food*. pp 16:46-53.
44. Sims, T. J. and Boiley A. J. 1981. Connective Tissue. En: *Developments in Meat Sciense -2*. Ed. R.A. Lawrie. Applied Science Publishers. Ltd, London, pp. 29-59.

45. Smith, D.M. 2001. Functional properties of muscle proteins in processed poultry products. In Poultry Meat Processing. (Sams, A. ed.) Ch 11, pp. 181-195. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
46. Szczesniak, A.S. 1963. Objective measurements of food texture. *Journal of Food Science*. pp.28, 410-420.
47. Szczesniak, A.S. 1995. Texture Profile Analysis Methodology Interpretation clarified. *Journal of Food Science*, pp. 60 –vii.
48. Texture Technologies, 2002. Texture Profile Analysis: texture profile analysis definitions. Fecha de actualización 07/01/2002, fecha de acceso: 06/02/2002. URL:<http://www.texturetechnologies.com/texture-profile-analysis.htm>.
49. Torberg, E. 1996. Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science* pp. 43:175-191.
50. Totosaus, A, 2001. Estudio del efecto de la adición de polisacáridos en la gelificación de proteínas animales. Tesis Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
51. Totosaus, A., 2002. Productos cárnicos emulsionados bajos en grasa y sodio. Memorias del Coloquio Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México, pp. 100-119.
52. Utilization of pork collagen for functionality improvement of boneless cured ham manufactured
53. Velasco, J. 1999. Los músculos: Características, funcionalidad y su relación con el rendimiento de corte. *Carnetec Nov-Dic 1999*. pp. 42-44.
54. Velásquez Martínez, A.R. 2002. Reducción de grasa y sodio en batidos cárnicos utilizando kappa-carragenina y otras sales. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hgo. México.
55. Webster JD, Ledward DA, Lawrie RA. 1982. Protein hydrolysates from meat industry by-products. *Meat Science* pp. 7:147–67.

56. Whiting RC. 1989. Contribution of collagen to the properties of comminuted and restructured meat products. In: Proc. 42nd Annual Reciprocal Meat Conf; Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada; June 11-14. pp: 149–56.
57. Wilding, P., P.J. Lillford, J.M. Regenstein, 1984. Functional properties of proteins in foods. *Journal Chem Technol. Biotechnol*, pp.34B: 182-189.