



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
Y DE LA SALUD ANIMAL

EFFECTO DE LA INTERACCIÓN DE TRANSGLUTAMINASA Y
DIFERENTES TIPOS DE CARRAGENINA SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS CÁRNICOS
REESTRUCTURADOS DE RES

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

ANA LAURA SOTO LÓPEZ

TUTORA:

MARIA DE LA SALUD RUBIO LOZANO

COMITÉ ACADÉMICO:
FERNANDO NÚÑEZ ESPINOSA
FRANCISCA ITURBE CHIÑAS

MÉXICO

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIAS

A la Dra. María de la Salud Rubio Lozano, por ser más que mi asesora... Mi amiga. Un millón de gracias por todos los consejos, por estar siempre para mí, por abrirme las puertas de su casa, por los regaños y por todo el apoyo recibido para que de alguna forma concluyera con esta nueva etapa de mi vida. De nuevo lo logramos!!! Gracias...

Al Maestro en Ciencias Lorenzo Gómez Cárdenas, quiero agradecerte por estar a mi lado en todo momento, por siempre escucharme y aconsejarme, por la paciencia, por aceptarme tal cual soy y por ser la persona más importante de mi vida y permitirme ser parte de la tuya. Tú sabes cuanto te quiero...

Al Maestro en Ciencias Martín Castro Briones, mi asesor. Amigo, no se que hubiera sido de mí sin ti y todo tu apoyo y buenas ideas. Gracias por todos los buenos momentos compartidos durante estos 3 años y los que faltan, la verdad la pasamos genial... que no??? pura vagancia contigo!!! y también estudio...

A la MVZ Daniela Pérez García y futura Maestra en Ciencias. Amiga esta tesis va para ti, te lo prometí y aquí está el trabajo terminado, va por las 2!!! A pesar de la distancia siempre te tengo presente y debo aceptar que el primer semestre de la maestría fue genial, una cuadrilla inolvidable... Gracias por ser la mejor y siempre juntas!!!

A mi mamá Martha P. López por ser un gran ejemplo para mí, por estar siempre a mi lado y por quererme tanto. A mis hermanos Rafa, Karla y Gaby por las charlas compartidas y por seguir tan unidos a pesar de todo. También al nuevo integrante de la familia, desde ahora ya eres muy especial para mí.

A todos mis amigos por seguir a mi lado y porque a pesar de ya no vernos tan seguido la amistad sigue presente y seguirá... Los quiero!!!

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Dr. José Alberto Ramírez de León y a la Maestra en Ciencias Geazul Calderón Hernández de la Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán, por brindarme todo su apoyo y asesoría, así como por dejarme realizar la primer etapa del proyecto en sus instalaciones y facilitarme todo su equipo de laboratorio. Gracias!!! Sin su ayuda no hubiera sido posible el concluir con este proyecto...

De igual forma quiero agradecer a mi comité tutorial, la Maestra en Ciencias Francisca Iturbe Chiñas y el MVZ. MCV. José Fernando Núñez Espinosa, por estar siempre presentes, por los consejos y la paciencia.

RESUMEN

La reacción dominante de la enzima Transglutaminasa es el entrecruzamiento de proteínas; modifica favorablemente las propiedades de textura, cohesión y reestructuración de los productos cárnicos con bajo contenido en sal y fosfatos. El objetivo del proyecto fue determinar el efecto de la concentración de transglutaminasa y dos tipos diferentes de carragenina en modelos cárnicos con la finalidad de aplicar estos resultados en la elaboración de un producto cárnico reestructurado de res (Tipo Jamón). Se elaboró una pasta con carne de res y 1% de sal, se dividió en grupos para la aplicación de 18 diferentes tratamientos en los que se incluyó la administración de la MTGasa y 2 diferentes tipos de carrageninas, se embutieron y refrigeraron durante 12 horas. Posteriormente fueron tratadas a una temperatura de 50° C y 90°C durante 30 minutos. Al finalizar se evaluaron por medio de un análisis de textura (punción y TPA), se determinó el color, pérdida por cocción y CRA. El análisis de varianza se realizó utilizando el programa SAS y para la separación de medias se utilizó el método Lsmeans. Se determinó que el tratamiento más efectivo fue la adición de 0.3% de MTGasa, 1% de carragenina y un tratamiento térmico de 50°C durante 30 minutos. Este tratamiento se aplicó en la elaboración del producto cárnico (Tipo jamón), se formó un grupo control. Finalmente se aplicaron los análisis de textura, color y evaluación sensorial en los productos. Se puede concluir que la aplicación de la MTGasa junto con la carragenina y un tratamiento térmico de activación, nos proporcionan una mejor conformación de los productos cárnicos y una mejora en las características de textura de los alimentos, lo que nos implica que la aplicación de la transglutaminasa en la industria de la carne es muy amplia pues actúa en todo tipo de material proteico.

Palabras claves: Transglutaminasa, carragenina, reestructurados, embutidos.

ABSTRACT

The dominant reaction of the enzyme transglutaminase (MTGasa) is the intersecting proteins; favorably modifies the properties of texture, cohesion and restructuring of meat products low in salt and phosphates. The project's objective was to determine the effect of the concentration of transglutaminase and two different types of carrageenan in meat models with the aim of applying these results in developing a restructured beef meat product (Type Ham). It developed a pasta with beef and 1% salt, divided into groups for the implementation of 18 different treatments that are included in the administration of MTGasa and 2 different types of carrageenan is sausage and refrigerate for 12 hours. They were later treated at a temperature of 50°C and 90°C for 30 minutes. At the end were evaluated by an analysis of texture (puncture and TPA), it was determined the color, loss by cooking and CRA. The variance analysis was performed using the SAS and for the separation of averages, the method Lsmeans. It was determined that the most effective treatment was adding 0.3% MTGasa, 1% of carrageenan and heat treatment of 50°C for 30 minutes. This treatment was applied in the processing of meat products (ham type) and formed a control group. Finally, we applied the analysis of texture, color and sensory evaluation in the products. One can conclude that the implementation of the MTGasa along with carrageenan and heat treatment activation, provide us with better conformation of meat products and an improvement in the pattern of texture of food, which means that we are implementing the transglutaminase in the meat industry is very broad because it acts in all kinds of material protein.

Key words: Palabras claves: Transglutaminase, carrageenan, restructured beef, meat products.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	
2.1 Situación de la ganadería bovina mexicana.....	3
2.2 Situación de los embutidos y empacadoras en México.....	4
2.3 El mercado de los productos cárnicos en nuestro país.....	5
2.4 Las operaciones en los procesos de elaboración de los productos cárnicos.....	6
2.5 La clasificación de los productos cárnicos.....	7
2.6 El jamón y especificaciones.....	10
2.7 Los productos cárnicos reestructurados y la reestructuración.....	13
2.8 Generalidades de la carne.....	14
2.9 Características que interfieren en la calidad de la carne.....	18
2.10 Enzimas.....	20
2.10.1 Clasificación de las enzimas.....	21
2.10.2 Transglutaminasa.....	22
2.11 Carrageninas.....	26
2.12 La pérdida por cocción.....	29
2.13 Capacidad de retención de agua.....	29
2.14 Color.....	30
2.15 Textura.....	34
3. OBJETIVOS	
3.1 Objetivo general.....	38
3.2 Objetivos específicos.....	38
4. METODOLOGÍA	
4.1 Estrategia General.....	39
4.2 Desarrollo experimental	
4.2.1 Etapa 1	
4.2.1.1 Elaboración de geles cárnicos de res.....	39
4.2.1.2 Análisis de pérdida por cocción.....	40
4.2.1.3 Análisis de CRA.....	41
4.2.1.4 Análisis de color.....	41
4.2.1.5 Análisis de textura.....	42
4.2.2 Etapa 2	
4.2.2.1 Definición del producto.....	43
4.2.2.2 Formulación del producto.....	43
4.2.2.3 Elaboración del producto.....	44
4.2.2.4 Análisis.....	45
4.3 Análisis estadístico.....	46
5. RESULTADOS	
5.1 Etapa 1	
5.1.1 Análisis de pérdida por cocción y CRA.....	47
5.1.2 Análisis de color.....	48
5.1.3 Análisis de textura	

5.1.3.1 TPA.....	49
5.1.3.2 Punción.....	52
5.2 Etapa 2	
5.2.1 Análisis de color.....	54
5.2.2 Análisis de textura	
5.2.2.1 TPA.....	55
5.2.2.2 Punción.....	56
5.2.3 Análisis sensorial.....	57
6. DISCUSIÓN	
6.1 Etapa 1.....	58
6.1.1 Análisis de pérdida por cocción y CRA.....	58
6.1.2 Análisis de color.....	60
6.1.3 Análisis de textura.....	62
6.2 Etapa 2.....	72
7. CONCLUSIÓN.....	76
8. REFERENCIAS.....	78
9. CUADROS DE RESULTADOS.....	89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Especificaciones técnicas de los jamones.....	12
Cuadro 2. Especificaciones microbiológicas del jamón.....	13
Cuadro 3. Factores de los cuales depende la jugosidad de la carne.....	19
Cuadro 4. Términos descriptivos de las propiedades de textura.....	37
Cuadro 5. Estrategia general del experimento.....	37
Cuadro 6. Tratamientos de los productos cárnicos.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matiz del color.....	31
Figura 2. Croma del color.....	32
Figura 3. Luminosidad del color.....	32
Figura 4. CIELAB del color.....	33

INTRODUCCIÓN

La transglutaminasa (MTGasa) es una enzima que cataliza reacciones de transferencia de acilos entre proteínas. La reacción dominante de esta enzima, es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular. Al no tener características sensoriales apreciables, no repercute directamente en el sabor, color u olor de los alimentos pero si modifica favorablemente las propiedades de textura, cohesión y reestructuración de los productos (Hie-joon K., Hyo S; 1999). En el caso de los jamones cocidos, el efecto de la MTGasa se ve reflejado no solo en el mejoramiento de la calidad de la textura, también en el mejoramiento del rebanado. El objetivo del proyecto fue determinar el efecto de la concentración de transglutaminasa y dos tipos diferentes de carragenina en modelos cárnicos con la finalidad de aplicar estos resultados en la elaboración de un producto cárnico reestructurado de res (Tipo Jamón) en la segunda etapa del proyecto.

Se elaboró una pasta con base en carne de res y 1% de sal. La pasta se dividió en grupos para la aplicación de 18 diferentes tratamientos en los que se incluyó la administración de la enzima MTGasa y 2 diferentes tipos de carrageninas. Los productos cárnicos se embutieron en tubos de acero inoxidable y se refrigeraron durante 12 horas. A continuación las muestras fueron tratadas con una temperatura de activación (50° C durante 30 minutos) y otros a cocción directa (90° C durante 30 minutos). Al finalizar estos pasos se evaluó el efecto del uso de la MTGasa y carragenina sobre la reestructuración de los productos cárnicos por medio de un análisis que incluyó la prueba de punción y análisis de perfil de textura (TPA), estos forman parte de la determinación de textura, se realizó la determinación de color, pérdida por cocción y capacidad de retención de agua (CRA). El análisis de varianza (ANOVA) se realizó utilizando el programa SAS y para la separación de medias se utilizó el método Least Squares Means (Lsmeans). Las variables independientes fueron la carragenina, la MTGasa y el tratamiento térmico. Con los resultados obtenidos se determinó que el tratamiento más efectivo fue la adición de 0.3% de MTGasa, 1% de carragenina y un tratamiento térmico de 50°C durante 30 minutos. Este tratamiento se aplicó en la elaboración del

producto cárnico (Tipo jamón) y se formó un grupo control (sin tratamiento). Finalmente se aplicaron los análisis de textura, color y se realizó una evaluación sensorial en los productos. Se puede concluir que la aplicación de la MTGasa junto con la carragenina y un tratamiento térmico de activación, nos proporcionan una mejor conformación de los productos cárnicos y esto se refleja en una mejora en las características de textura de los alimentos, lo que implica que la aplicación de la transglutaminasa en la industria de la carne es muy amplia pues actúa en carne de ave, cerdo, pescado y res. En el procesamiento de la carne de res es de gran interés aumentar la producción comercial de embutidos, esto incluye el desarrollo de métodos para la reestructuración de cortes de bajo valor, mejorando su apariencia, sabor, textura, y para realzar el valor en el mercado de la carne de res.

ANTECEDENTES

2.1 Situación de la ganadería bovina mexicana

La ganadería productora de carne bovina es la actividad productiva más difundida en el medio rural, se realiza en todas las regiones agroecológicas del país. Se estima que la ganadería se desarrolla en aproximadamente 110 millones de ha, que representan aproximadamente el 60% de la superficie del territorio nacional. Los sistemas de producción van desde los más altamente tecnificados e integrados hasta los tradicionales (SAGARPA, 2006).

Las políticas de apertura en el comercio exterior, que comenzaron a aplicarse a mediados de los 80's y la firma de acuerdos comerciales, han afectado al sector agropecuario del país en general y a la ganadería bovina para carne en particular. El creciente flujo de importaciones de productos cárnicos bovinos sin condiciones adecuadas en el control de calidad desde el punto de vista sanitario y de inocuidad alimentaria en puertos y fronteras, ha ocasionado daños económicos importantes en la cadena de carne bovina del país. Este incremento de las importaciones provenientes mayormente de Estados Unidos, sin un crecimiento equiparable de la producción nacional y de las exportaciones; con el consecuente crecimiento del déficit de la balanza comercial y el desplazamiento de la producción nacional, ha colocado al mercado como eje de la problemática ganadera (Domínguez Z.C., 2005).

Por consiguiente podemos decir que la industria cárnica nacional de carne de bovino está pasando por una de las etapas más difíciles en cuanto a comercialización de subproductos se refiere; la producción de este tipo de carne se ha visto afectada por la producción de carne de ave; esta diferencia en el crecimiento del volumen de la producción se ve reflejada en el consumo *per cápita* en el país, el cual fue de 11.9 Kg. para la carne de res, mientras que el consumo de carne de ave fue de 26 Kg. durante el 2005, a pesar de esto la producción de carne bovina sigue en aumento; en el 2003 la producción fue de 1,503.7 toneladas con un aumento para el 2005 de 2,210.6 toneladas anuales. En los últimos años su producción se ha visto superada por la carne de ave la cual fue en 2003 de 2,155.5 toneladas, alcanzando en el 2005 una producción

de 2,314.0 toneladas. La carne de ave en fresco es consumida preferentemente por la población; sin embargo como materia prima para carnes frías y embutidos se está utilizando extensivamente (SAGARPA, 2006).

En virtud de que el mercado principal para los productores nacionales de embutidos es el interno, las políticas de comercio exterior con el consecuente incremento de las importaciones, ha tenido un efecto negativo sobre la producción de los mismos, donde se nota un desplazamiento de la producción nacional por los productos importados, cierre de empresas y una disminución del hato ganadero nacional (Domínguez Z.C., 2005).

2.2 Situación de los embutidos y empacadoras en México

La carne constituye desde hace muchos años un componente importante de la dieta humana, aunque debido a condiciones económicas, no indispensable en las dietas consumidas en nuestras sociedades. Desde hace algunos años el consumidor demanda conocer más sobre los alimentos, de donde vienen y cómo se producen. Este consumidor activo es más crítico e individualista, demanda más información y se preocupa por su salud y el medio ambiente. En este sentido, las carnes frías ó productos cárnicos representan alternativas que han encajado perfectamente con estas necesidades actuales. Sin embargo, la industria cárnica ha de mejorar su imagen y la de sus productos y desde otra perspectiva, brindar al consumidor variedad de productos, de rápida preparación a precios accesibles y con una excelente calidad sensorial (FOMECARNE, 2006).

La búsqueda de la calidad en los productos cárnicos es un objetivo prioritario y debe dirigirse, en primer término, a la materia prima. Se deben desarrollar sistemas de clasificación de las canales en función del destino que se les vaya a dar.

En México, los productos cárnicos tienen una gran importancia y aunque el consumidor está afectado por la crisis económica, existe una gran aceptación de productos prácticos, que combinan con muchos platillos, son nutritivos, tienen gran aceptación entre amplios sectores de la población y son de fácil preparación. Se registró una expansión del consumo de productos

cárnicos del 15% al principio del año 2000, y se han recopilado datos de la producción de embutidos en México con la finalidad de establecer los productos de mayor demanda, donde se destaca que las salchichas y jamones constituyen más del 80% del total de la producción. Los tocinos, así como los chorizos y longanizas representan más del 8%. Es importante mencionar que el 88% de la producción nacional de carnes frías y embutidos se encuentra localizada en ocho estados de la república, de los cuales destacan el Distrito Federal, Nuevo León y Jalisco. El 78% de la producción nacional de carnes frías y embutidos se consume principalmente en el Distrito Federal y Zona Metropolitana, Jalisco, Chihuahua, Nuevo León y Baja California (SAGARPA, 2006).

2.3 El mercado de los productos cárnicos en nuestro país

Los productos cárnicos son aquellos a los que se les han modificado las propiedades de la carne fresca mediante el empleo de una o más técnicas como: picado, triturado, adición de condimentos, modificación del color ó tratamiento térmico, entre otros. La fabricación de embutidos exige un amplio conocimiento de todo lo referente a la elección de las carnes, tratamientos previos y elaboración de los mismos.

Actualmente en México se fabrican más de 80 productos cárnicos además de algunos embutidos típicos de acuerdo a la región donde se encuentren localizadas las plantas o las costumbres de consumo por parte de la población. La industria está constituida por 475 establecimientos productores de embutidos en todo el país de los cuales el 4% son grandes y medianas empresas y el 96% son micro y pequeños establecimientos, de carácter artesanal en su mayoría. De manera que el 47% de las ventas de productos cárnicos es por medio de tiendas de autoservicio y el 53% por comercio de detalle (SAGARPA, 2006).

En la elaboración de embutidos se utilizan materias primas cárnicas como es la carne de cerdo, ave y res, tanto de origen nacional como importadas. Del total de materias primas cárnicas que se utilizan el 55% es de cerdo, el 25% de ave y el 20% restante son de res (SAGARPA, 2006).

2.4 Las operaciones en los procesos de elaboración de los productos cárnicos

Se pueden considerar como operaciones y procesos unitarios: la molienda ó picado, el mezclado, el embutido o relleno, etc. Dentro de estas operaciones la reducción de tamaño por medio del molido juega un papel importante en la extracción de las proteínas solubles permitiendo a los componentes de la mezcla cárnica unirse entre si reduciendo los problemas de obturación por la grasa y el tejido conjuntivo. Este es un proceso donde el material es troceado con algunos desgarres al pasar por la placa fija perforada (Goldberg M., 1991) (Reichert J.E., 2000).

Mezclado: El objetivo es homogeneizar los distintos componentes del producto, tanto la carne como la grasa y los aditivos (Horst-Dieter T., 2001) (Prandl O., 1999) (Casp A., 2003).

Batido y gelificación: Es un picado muy fino en el que se consigue una emulsión, se suele hacer a temperaturas muy fría por lo que a veces se añade hielo. El resultado va a ser una emulsión de grasa en agua. En la fase acuosa están disueltas las proteínas y las sales. Los agentes emulsionantes son las proteínas, principalmente las miofibrilares y dentro de estas aquellas que presentan una parte polar fase acuosa y otra parte apolar hacia la parte grasa, como es el caso de la miosina. La estabilidad dependerá de la cantidad de proteínas y de la solubilidad de estas. La solubilidad dependerá del pH, lo ideal sería próximo a la neutralidad pero en los productos cárnicos oscila entre 5,6 y 6. Otro factor es la concentración de sales, principalmente cloruro sódico, siendo lo ideal 4-4,5%. Esta emulsión sólo es estable durante unas horas, a partir de entonces se convierte en dos fases. Para la estabilización definitiva hay conseguir la ligazón, que es realmente la gelificación de la matriz. Se intenta formar un gel y se consigue uniendo las proteínas con distintos tipos de enlaces (puentes disulfuro, puentes de hidrógeno, fuerzas hidrofóbicas) formando una malla donde quedan estabilizadas las partículas grasas. Para esto es necesaria la desnaturalización de las proteínas parcialmente. En primer lugar mediante tratamiento térmico 45 °C, pH 5.6-6 y una concentración de sales del 4%, se consigue una gelificación total en productos cárnicos cocidos.

Si una vez que tenemos la emulsión bajamos el pH obtendremos el gel en los productos cárnicos fermentados. En un embutido normal se añaden azúcares aumentando la fermentación bajando el pH más rápidamente (Horst-Dieter T., 2001) (Prandl O., 1999) (Casp A., 2003). Se lleva a cabo sobre todo en los productos que llevan tratamiento térmico como pueden ser mortadela, salchichas, etc., en menor medida se realiza en productos fermentados.

Embutido ó relleno: Se utiliza en los productos cárnicos. El embutido se puede hacer en tripa natural o artificial (plástico ó celulosa). La ventaja de la tripa natural es que el proceso de secado es adecuado ya que la natural es permeable al agua y a los componentes del humo. Como inconveniente es que son más caras y el procesado tendrá que ser discontinuo además de que deben ser previamente tratadas y conservadas. Las tripas artificiales de plástico son las menos recomendables, y se utilizan para embutidos frescos. Las tripas artificiales de celulosa o colágeno son mejores, son permeables al agua y a los componentes del humo por lo que permiten un embutido continuo con embutidoras que son capaces de hacer el vacío por lo que tarda más en enranciarse (Horst-Dieter T., 2001) (Prandl O., 1999) (Casp A., 2003).

2.5 La clasificación de los productos cárnicos

La clasificación de los productos cárnicos constituye el punto de partida para su normalización, que se realiza estableciendo normas de identidad y especificaciones de calidad, y también para los procedimientos de certificación de la calidad de la producción y del sistema preventivo de control de calidad, de análisis de riesgos y control de puntos críticos. No obstante, resulta complicado clasificar los productos cárnicos por su amplio surtido (Price J.F., 2001).

Las clasificaciones de los productos cárnicos son diversas y se basan en criterios tales como los tipos de materias primas que los componen, la estructura de su masa, si están o no embutidos, si se someten o no a la acción del calor o algún otro proceso característico en su tecnología de elaboración, la forma del producto terminado, su durabilidad o cualquier otro criterio o nombres derivados de usos y costumbres tradicionales.

La aplicación o no de un tratamiento térmico a los productos cárnicos es la principal característica que permite una división primaria de éstos en productos crudos y productos tratados con calor (Urbain W.M., 1999).

En los productos crudos generalmente se alcanzan cambios deseables de sus características organolépticas y una estabilidad y seguridad sanitaria satisfactoria por medio de los procesos de fermentación o secado o salado (Price J.F., 2001).

En los productos tratados con calor junto con la modificación de sus propiedades organolépticas por medio de la cocción, el tratamiento térmico tiene como objetivo principal eliminar microorganismos e inactivar enzimas, lo cual es fundamental para la durabilidad, la calidad y la seguridad de los productos (Price J.F., 2001).

Los tratamientos térmicos aplicados en los productos cárnicos son la pasteurización y la esterilización utilizando generalmente métodos convencionales de calentamiento (agua, vapor o aire seco) (Wong P.C., 1994).

En la esterilización se calienta el producto a una temperatura mayor de 100 °C en el centro de su masa. De esta forma se logra destruir los microorganismos y sus esporas para hacer el producto estable a temperatura ambiente. La intensidad del proceso se mide por medio del valor F que expresa el tiempo necesario, en minutos, a una temperatura dada para alcanzar un efecto letal sobre los microorganismos. Frecuentemente se emplea F₀, que expresa el tiempo necesario a 121 °C para destruir el *Clostridium botulinum* y sus esporas, tomado como microorganismo de referencia (Wong P.C., 1994).

En la pasteurización se calienta el producto hasta que alcance en su centro una temperatura situada en el intervalo de 65 a 75 °C. A estas temperaturas se inactivan las enzimas y se eliminan los microorganismos vegetativos, pero sobreviven las esporas bacterianas; también se logra la coagulación de las proteínas cárnicas que dan al producto sus características de textura (Wong P.C., 1994).

A partir de esta división inicial en 2 grandes grupos se ordenan los productos distribuyéndolos en subgrupos definidos sobre la base de características relevantes de su tecnología de elaboración.

1. Productos cárnicos. Son aquellos productos que contengan carne de mamíferos y/o aves de corral y/o caza destinada al consumo humano.

1.1 Productos cárnicos crudos. Son aquéllos sometidos a un proceso tecnológico que no incluye un tratamiento térmico.

1.1.1 Productos cárnicos crudos frescos. Son los productos crudos elaborados con carne y grasa molidas, con adición o no de subproductos y/o extensores y/o aditivos permitidos, embutidos o no, que pueden ser curados o no y ahumados o no. Incluyen: hamburguesas, longanizas, butifarra fresca de cerdo, picadillo extendido, masas crudas y otros.

1.1.2 Productos cárnicos crudos fermentados. Son los productos crudos elaborados con carne y grasa molidas o picadas o piezas de carne íntegras, embutidos o no, que se someten a un proceso de maduración que le confiere sus características organolépticas y conservabilidad, con la adición o no de cultivos iniciadores y aditivos permitidos, pudiendo ser curados o no, secados o no y ahumados o no. Incluyen: chorizos, salamis, pastas untables, jamón crudo, salchichones y pepperoni.

1.1.3 Productos cárnicos crudos salados. Son los productos crudos elaborados con piezas de carne o subproductos y conservados por medio de un proceso de salado, pudiendo ser curados o no, ahumados o no y secados o no. Incluyen: tocino y tasajo.

1.2 Productos cárnicos tratados con calor. Son los que durante su elaboración han sido sometidos a algún tipo de tratamiento térmico.

1.2.1 Productos cárnicos embutidos y moldeados. Son aquéllos elaborados con un tipo de carne o una mezcla de 2 o más carnes y grasa, molidas y/o picadas, crudas o cocinadas, con adición o no de subproductos y/o extensores y/o aditivos permitidos, colocados en tripas naturales o artificiales o moldes y que se someten a uno o más de los tratamientos de curado, secado, ahumado y cocción.

1.2.2 Piezas íntegras curadas y ahumadas. Son los productos cárnicos elaborados con piezas anatómicas íntegras y aditivos permitidos, con adición o no de extensores, en los que los procesos de ahumado,

curado y cocción tienen un papel principal. Incluyen: jamones, lomo ahumado y otros.

1.2.3 Productos cárnicos semielaborados. Son los elaborados con carne molida o picada o en piezas, con adición o no de tejido graso, subproductos, extensores y aditivos permitidos, que han recibido un tratamiento térmico durante su elaboración, pero que necesitan ser cocinados para consumirlos. Incluyen: croquetas, productos reconstituidos ("reestructurados"), productos conformados ("palitos" de carne, "nuggets", otros productos empanados) y productos semicocidos.

1.2.4 Conservas cárnicas. Son la carne o los productos cárnicos que se tratan adecuadamente con calor en envases cerrados, herméticos, que pueden ser latas, pomos, tripas artificiales o bolsas de materiales flexibles y que pueden ser almacenados por un largo tiempo.¹⁴ Las conservas pueden elaborarse con carne y/o subproductos, con la adición o no de tejidos grasos, extensores y aditivos permitidos.

La clasificación puede ser útil tanto para los industriales como para aquellas entidades que se ocupan de la compra, venta, distribución y control sanitario de los productos cárnicos en el país (Venegas F., 1999).

2.6 El jamón y especificaciones

El jamón es un producto crudo elaborado con piezas de carne o subproductos y conservados por medio de un proceso de salado, pudiendo ser curados o no, ahumados o no y secados o no (NOM-158-SCFI-2003).

El fundamento de la elaboración de jamones, como el de cualquier otro producto cárnico, es principalmente conseguir aumentar la vida útil de la carne, aunque en la actualidad esto es más complejo, ya que intervienen muchos factores, los cuales comprenden desde las características sensoriales del alimento hasta las de mercadotecnia (Alan H., 1995).

En la adquisición de la materia prima, la edad de la canal representa una primera selección. La carne a usar debe provenir de animales adultos (canales de 110-120kg). Las carnes de animales jóvenes son más pálidas y de menor consistencia, lo que se traduce en un producto que puede presentar, problemas

de color, falta de consistencia y pérdidas de agua excesivas (Wong P.C., 1994).

La formulación es un aspecto que reviste cierta complejidad a la hora de elaborar un embutido. Va a variar considerablemente dependiendo del fabricante y del producto en cuestión. Existe una serie de aditivos básicos para la elaboración de jamones, los cuales cumplen funciones determinadas y se utilizan prácticamente en todas las formulaciones de elaboración de jamones.

Nitratos y nitritos: El objetivo principal es obtener el color adecuado en el producto cárnico. En presencia de óxido nítrico se forma la nitrosomioglobina que tiene un color rojo brillante. Posteriormente se forma el nitrosohemocromogeno que es de color rojo pálido o rosa y que da color a productos cárnicos cocidos. Los nitratos y nitritos también afectan al aroma. Los términos “salado” y “curado” en ocasiones se emplean incorrectamente como sinónimos; pero existe una gran diferencia ya que en el salado es la adición de sal común al producto mientras que en el curado incluye los agentes curantes (nitratos y nitritos). Con el fin de incrementar su capacidad de conservación, así como para conferirle un color típico y aroma característico (Price J.F., 2001) (Potter N., 1999) (Alan H., 1995).

Sal: El cloruro sódico es el aditivo más importante ya que realiza la absorción del agua contenida en el alimento, es decir, disminuye la actividad de agua, lo que impide el crecimiento microbiano. Esta actividad de agua tiene efectos sobre la textura presentando una textura más seca. También tendrá efectos sobre el sabor. Porcentajes bajos de cloruro sódico tienen efectos potenciadores del sabor. Por el contrario, concentraciones altas enmascaran el sabor del producto. La concentración de cloruro sódico en productos cárnicos debe ser menor al 5%. En presencia de sal, la grasa se oxida antes. La acción antimicrobiana de la sal, está basada, en la concentración en la que se adiciona, ya que la sal atrae osmóticamente el agua (reduciendo el a_w del alimento), haciendo imposible su utilización por los microorganismos (Price J.F., 2001) (Potter N., 1999) (Alan H., 1995).

Azúcares: Tienen un efecto sobre el aroma, amortigua el salado por la adición de cloruro sódico. Tiene importancia tecnológica en productos cárnicos

principalmente crudos curados en los que favorece el proceso de fermentación. En menor medida también algunas salazones presentan etapa de fermentación. Se añaden glucosa, sacarosa, miel, lactosa e incluso un polisacárido como el glucógeno para que la fermentación dure más tiempo. La adición puede ser el seco o en jarabe pero en jarabe se añade también agua lo que hace que tarden más el secado del producto (Price J.F., 2001) (Potter N., 1999) (Alan H., 1995).

Fosfatos: Normalmente son sales de sodio (fosfato sódico). Su función es la de mantener y mejorar la capacidad de retención de agua del alimento cárnico. Cabe señalar los productos cárnicos en los que se conserva la estructura de carne (menos degradadas las miofibrillas) donde van a actuar los fosfatos, sin embargo en la mortadela no ejerce función los fosfatos. Aumentan el pH de los productos cárnicos produciendo un efecto tampón y por su efecto quelante aumenta la capacidad de retención de agua, también va a preservar el color al secuestrar el ferroso de la mioglobina. En productos cárnicos cocidos tiene función de ligante entre la gelatina y el producto cárnico (Price J.F., 2001) (Potter N., 1999) (Alan H., 1995).

Cuadro 1. Especificaciones técnicas de los jamones

Clasificación	% Proteína Libre de Grasa Mínimo	% Grasa Máximo	% Humedad Máximo	% de Ligadores Máximo		
				% Proteína Adicionada	%Carragenina (Gomas)	% Fécula
Prime, Extra o Extrafino	18	6	75	0	1.5	0
Fino	16	6	76	0	1.5	0
Comercial	14	8	76	2	1.5	5
Económico	12	10	76	2	1.5	10
Popular	12	10	76	2	1.5	10

NOM-158-SCFI-2003

Especificaciones organolépticas del jamón

Color: Rosa pálido característico

Olor: Agradable, característico, exento de olores extraños

Sabor: Agradable, característico, exento de sabores extraños

Consistencia: Firme, compacta y el aspecto del producto debe ser terso.

Cuadro 2. Especificaciones microbiológicas del jamón

Mesófilos aerobios	100 000 UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	Negativo
Hongos y levaduras	< 10 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	100 UFC/g
<i>Salmonella spp</i>	Negativo en 25g

NOM-158-SCFI-2003

2.7 Los productos cárnicos reestructurados y la reestructuración

Los productos reestructurados se obtienen de productos cárnicos que no tienen una textura o forma adecuada para su venta como producto fresco. Se reestructura para que se parezca lo máximo posible a filetes, carnes para el asado o para cualquier tipo de producto original. Deben tener un color típico, debe presentar un porcentaje de grasa que se asemeje al deseado y debe tener una estructura lo más parecida a la original. La estructura básica será la de trozos de carne fresca unidos por una matriz gelificada que es el exudado, cuyas proteínas están en forma de gel. Este gel no se ha formado por tratamiento térmico ni por disminución del pH, lo que se hace es añadir una serie de aditivos o ingredientes, así como enzimas como la transglutaminasa que tiene como objetivo la formación de enlaces peptídico entre las proteínas

del exudado. También forman enlaces con las proteínas de la carne (Téllez L., 2004).

Recientemente se han desarrollado nuevas tecnologías orientadas a optimizar la rentabilidad de los productos cárnicos aprovechando recortes de poco valor comercial por medio de técnicas de reestructuración.

La reestructuración convencional de productos cárnicos se basa en la utilización de calor, aditivos como sal, fosfatos y acción mecánica, lo cual limita el mercado a alimentos precocidos. Los nuevos sistemas de reestructuración en frío, mediante la utilización de gelificantes o enzimas específicas, abren la posibilidad a los alimentos crudos y congelados.

Estas novedosas tecnologías ya han sido aprobadas para su utilización en Estados Unidos y en Japón, su interés se basa en la demanda creciente de productos cárnicos listos para consumo o de rápida cocción, en porciones individuales, con menor contenido de grasa y sal que los productos habituales, como así también en la transformación de cortes y recortes de bajo valor comercial en nuevos productos de elevado valor agregado, aumentando, de este modo, el rendimiento económico de las canales.

El uso principal de esta tecnología está orientado a la obtención de un alimento listo para consumo que simule un músculo intacto, lo cual no lo transforma en un reemplazo de los cortes musculares intactos de alta calidad sino que es un medio para expandir el mercado de los productos cárnicos (Marquez E., 2006) (Téllez L., 2004).

2.8 Generalidades de la carne

La carne es la estructura muscular estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo como huesos y grasa, además de nervios, vasos linfáticos y sanguíneos, de los animales aptos para consumo humano, que no ha sido sometida a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características sensoriales y fisicoquímicas. Los animales de abasto, principalmente son; mamíferos (ovino, bovino, porcino, conejos, etc.), aves (pollo, ganso, pavo, etc.), peces (crustáceos, peces, etc.), también se incluyen animales de caza y exóticos (Prandl O., 1999).

Existen 3 tipos de músculos:

Tejido muscular liso: Sus células tienen forma de huso, un núcleo central alargado y en su interior presentan fibrillas que en ningún caso tendrán una estructura estriada. Este tejido es el característico de las vísceras. Es involuntario y está enfocado a funciones fisiológicas. Desde el punto de vista alimentario no tiene mucha importancia.

Tejido muscular cardíaco: Compuesto de células cilíndricas bifurcadas en los extremos aumentando el número de contacto entre células, presentan miofibrillas.

Músculo estriado esquelético: Es el más importante desde el punto de vista alimentario. Las células son cilíndricas muy alargadas, presentan varios núcleos que se sitúan en la periferia y que tienen una membrana celular que se denomina sarcolema, tienen estructuras estriadas que se denominan miofibrillas. Dentro del tejido muscular estriado esquelético está la fibra muscular roja que tiene un metabolismo aerobio y una gran concentración de mioglobina, y la fibra blanca asociada a un metabolismo anaerobio y una menor concentración de mioglobina (Price J.F., 2001).

Estructura del tejido muscular esquelético:

Es una estructura estriada debido a las miofibrillas. Las estriaciones se deben a la disposición de dos tipos de filamentos: gruesos y delgados. Las bandas oscuras (bandas A) son en las que predominan los filamentos gruesos. Las bandas claras (bandas I) son en las que predominan los filamentos delgados. La banda H sólo tiene filamentos gruesos y su tamaño dependerá de la contracción del músculo. La zona de inserción de los filamentos delgado es la línea Z. La línea M es la zona central de los filamentos gruesos. La unidad estructural de una miofibrilla es la que va de una línea Z a otra y se denomina sarcómero (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

Composición química de la carne:

Agua: La cantidad varía dependiendo de la especie, la edad, sexo y zona anatómica del tejido. La variación de la cantidad de agua está directamente relacionada con la variación de la cantidad de grasa (lo mismo pasa en todos los alimentos). La cantidad de agua en la carne oscila entre 60 y

el 80% y esta relacionada con la jugosidad y otros atributos sensoriales como la textura el color o la dureza de la carne (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

Proteínas miofibrilares: Corresponde hasta el 65-75% del total de las proteínas del músculo. Las más importantes van a ser la actina (principal componente de los filamentos delgados) y la miosina (principal componente de los elementos gruesos). Se encuentran en la carne como actinmiosina.

- Miosina: Son el 50% aproximadamente de las proteínas miofibrilares, la molécula está compuesta por dos cadenas pesadas (mermiosina) y cuatro cadenas ligeras. Las dos cadenas pesadas forman la cola y tienen una estructura fibrilar. Las cadenas ligeras forman la cabeza y tienen una estructura globular. Las cadenas ligeras tienen un centro activo ATPasa. Las cabezas son las que se van a unir y separar rápidamente a la actina. El punto isoeléctrico de la miosina es de 5,3.
- Actina: Es la parte fundamental de los filamentos delgados. Es globular (contiene prolina) que se denomina actina G. Formar filamentos que se denominan actina F. 2 filamentos de actina G enrollados es la base de los filamentos delgados. Supone el 25% de las proteínas miofibrilares y su punto isoeléctrico está en torno a 4,7 (es el punto de pH en el que la proteína presenta carga neutra lo cual es muy importante en cuanto a la capacidad de retención de agua de la carne).
- Tropomiosina: Corresponde entre el 8 y el 12% de las proteínas miofibrilares. Tiene estructura fibrilar y forma parte del filamento delegado sobre la actina y de vez en cuando uniéndose a ella.
- Troponina: Está presente en un bajo porcentaje, es globular y se encuentra en los filamentos delgados a la altura de la unión de la tropomiosina con la actina. Está implicada en procesos de regulación de la contracción muscular.

Proteína C: se encuentra en un 2% y al igual que otras muchas proteínas de alto peso molecular tienen una función estructural (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

Proteínas sarcoplásmicas: Corresponden alrededor del 30-35% del total de proteínas del músculo, se encuentran en el citoplasma de la fibra muscular. La más importante es la mioglobina que según sea su estado y cantidad será el color de la carne. La mioglobina que es una heteroproteína ya que está constituida de una parte proteica (globina) y una parte no proteica (grupo hemo). La globina está formada por segmentos de alfa hélices dobladas en ocho segmentos. Dentro de la globina encontramos el grupo hem que es una protoporfirina (4 anillos pirrólicos con un átomo de hierro en el centro). La estabilización del grupo hem dentro de la molécula se hace por enlaces salinos, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. La cantidad de mioglobina de la carne dependerá de distintos factores: La hemoglobina es un tetrámero de la molécula de mioglobina y se encuentran en los capilares sanguíneos de la carne, por lo que se encuentra en forma residual (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

Grasas: El contenido en la carne va a ser muy variable siendo el parámetro que más varía. La cantidad de grasa va a depender de la relación grasa-agua. Todo lo que hay en el agua, proteínas, sales etc. variará si aumenta o disminuye la cantidad de grasa. Esta grasa se va a acumular en cuatro depósitos:

- Cavity corporal: cavidad torácica, abdominal y pélvica
- Subcutánea
- Intramuscular
- Intermuscular

La grasa de estos depósitos va a ser una grasa neutra. Formada por triglicéridos principalmente. También hay diglicéridos y monoglicéridos, colesterol y ésteres de colesterol. Los triglicéridos son moléculas de glicina unidas por enlaces ésteres a tres ácidos grasos.

Carbohidratos: La cantidad apenas llega al 1% en la carne siendo el glucógeno el más importante. El glucógeno es un polímero de alfa-D-glucosa con enlaces (alfa1-4) y (alfa 1-6). Es la fuente de energía del músculo siendo parte del glucógeno consumido en el rigor mortis (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

2.9 Características que interfieren en la calidad de la carne

Capacidad de retención de agua: Es la capacidad de la carne a retener total o parcialmente el agua que posee. Es importante desde el punto de vista sensorial, nutritivo y tecnológico. Desde el punto de vista sensorial va a tener importancia en la jugosidad, textura, color y dureza de la carne. Desde el punto de vista nutritivo una carne con una capacidad retención de agua baja pierde agua, minerales y todos aquellos componentes solubilizados como proteínas vitaminas etc. Desde el punto de vista tecnológico, carnes con baja capacidad de retención de agua producirán goteo mientras que carnes con alta capacidad de retención de agua producirán hinchamiento.

El agua supone el 75% del peso total de la carne. La vamos a encontrar en forma ligada estableciendo Puentes de hidrógeno con los grupos hidrófilos cargados de las proteínas. También habrá agua inmovilizada que es una capa intermedia, no ligada, pero orientada a los grupos hidrófilos. La gran mayoría del agua, entorno al 95%, se encuentra en estado de agua libre.

Las proteínas del tejido conectivo retienen el 10% de agua, las sarcoplásmicas el 20% y las miofibrilares el 70%. Las miofibrillas tienen forma de red tridimensional, es decir, junto con el agua forman un gel donde queda retenida esta. La capacidad de retención de agua dependerá de la expansión del gel, cuanto mayor sea el número de interacciones entre las moléculas de proteínas miofibrilares menor será la capacidad de retención de agua. A menor número de interacciones, más expandido estará el gel y mayor será la capacidad de retención de agua (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

Jugosidad: Es la sensación al masticar. Depende en primera instancia del contenido acuoso pero principalmente dependerá del contenido en grasa intermuscular e intramuscular que va a dar una sensación más duradera que se debe a la mezcla de la grasa con la saliva. Dependerá por tanto de la capacidad de retención de agua y de la grasa de la carne.

Cuadro 3. Factores de los cuales depende la jugosidad de la carne

<u>Ante-mortem</u>	Especie: el cerdo y el cordero en principio tienen más grasa. El caso contrario es el de las aves.
	Edad: la carne adulta tiene mayor cantidad de grasa.
	Sexo: las hembras tienen mayor cantidad de grasa.
	Zona anatómica o corte.
<u>Post-mortem</u>	Dureza de la carne: cuanto más dura, menos jugosa.
	Tratamiento culinario: si es severo, eliminará mayor cantidad de agua y por tanto estará menos jugosa. La carne de vacuno lleva un tratamiento más suave que otras carnes. Mediante el asado se consiguen las carnes más jugosas.

Textura y dureza: La textura hace referencia a la estructura del músculo, concretamente al tamaño de las haces musculares que dependen del número de fibras y cuanto más número de fibras más grandes serán las haces musculares. También dependen del tamaño de las fibras y del tejido conectivo que envuelve a estas haces. La Dureza es el comportamiento de la carne a la masticación. Esto implica la resistencia de la carne a la presión dental, la dificultad de cortar la carne, el grado de adhesión (depende de la cantidad de reticulina y de elastina). La dureza depende de la cantidad y de la calidad del tejido conectivo, también del grado de interacciones entre las proteínas y del grado de desorganización de las miofibrillas. Por último, y algo menos importante, depende de la cantidad de grasa intermuscular e intramuscular que enmascara a la hora de masticar la cantidad de tejido conectivo. Depende de los mismos factores ante mortem que la textura, siendo las carnes con textura más duras (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

Color: Es la primera característica que percibe el consumidor. Los colores oscuros se asocian a carne dura, poco jugosa y con bastante tiempo. El color dependerá básicamente de los pigmentos, concretamente de la

mioglobina. También dependerá del estado en el que encontremos la mioglobina en la carne.

La mioglobina presenta en su grupo hem un ión de hierro reducido o ión ferroso que cuando los niveles de oxígeno son altos se oxida. La oximioglobina presenta el grupo hem ligado de forma reversible a una molécula de oxígeno. La metamioglobina puede provenir de la mioglobina o de la oximioglobina por oxidación del grupo hem aunque partirá principalmente de la oximioglobina. La formación de metamioglobina en la carne fresca es reversible. Las tres formas se encuentran en equilibrio predominando en la superficie la oximioglobina y en el interior de la carne y la mioglobina. La metamioglobina aparecerá con el tiempo facilitando esta aparición la bajada del pH posterior al rigor mortis. También las enzimas implicadas en pasar la metamioglobina a mioglobina se desnaturaliza en por lo que la carne se va poniendo parda (Gracey J.E., 1989) (Judge, M.D., 1988) (Libby J.A., 1981) (Prandl O., 1999) (Price J.F., 2001).

2.10 Enzimas

Las enzimas químicamente son proteínas y actúan como catalizadores muy potentes y eficaces. La característica más sobresaliente de las enzimas es su elevada especificidad. La acción enzimática se caracteriza por la formación de un complejo que representa el estado de transición (Farinas E .T., 2001) (Velazco, 1999).

El sustrato se une al enzima a través de numerosas interacciones débiles como pueden ser: puentes de hidrógeno, electrostáticas, hidrófobas, etc.; en un lugar específico, el centro activo, el cual es una pequeña porción de la enzima constituido por una serie de aminoácidos que interaccionan con el sustrato.

Las enzimas se caracterizan por dos fenómenos:

- La especificidad.
- La inhibición competitiva.

La especificidad: Se refiere a que en general una enzima cataliza un tipo de reacción química, o en todo caso varias reacciones en las que los sustratos tengan la misma estructuración básica.

La inhibición competitiva: Consiste en que si se añade al medio de reacción, una enzima igual al sustrato la enzima se une a ella impidiéndose la reacción (Farinas E .T., 2001) (Velazco, 1999).

2.10.1 Clasificación de las enzimas:

Óxido-reductasas (Reacciones de oxido-reducción)

Transferasas (Transferencia de grupos funcionales)

Hidrolasas (Reacciones de hidrólisis)

Liasas (Adición a los dobles enlaces)

Isomerasas (Reacciones de isomerización)

Ligasas (Formación de enlaces, con aporte de ATP)

Algunas enzimas actúan con la ayuda de estructuras no proteicas. En función de su naturaleza se denominan:

- Cofactor: Muchas enzimas necesitan la presencia de sustancias, no proteicas adicionales, para su funcionamiento, a estas sustancias se les denomina cofactores, que pueden ser iones como Mg , que participa en las reacciones en las que se transfiere un grupo fosfato de una molécula a otra, y otros iones como K , Ca , Zn , Cu , Mn , Fe y Na. En otros casos la unión entre aminoácidos e iones mantiene la estructura terciaria en ciertos pliegues y en otros la estructura cuaternaria.
- Coenzima: Las coenzimas son moléculas orgánicas pequeñas, muchas son vitaminas como es el caso de la riboflavina (B2), tiamina (B1) y nicotinamida. Estas coenzimas pueden reciclarse y volver a ser usadas, por eso el organismo sólo necesita pequeñas cantidades de estas sustancias. Algunas coenzimas pueden unirse covalentemente a la parte proteica de la enzima, dando lugar a un grupo prostético.

Como catalizadores, los enzimas actúan en pequeña cantidad y se recuperan indefinidamente. No llevan a cabo reacciones que sean energéticamente desfavorables, tampoco modifican el sentido de los equilibrios químicos, sino que aceleran su consecución.

Las enzimas Transferasas catalizan la transferencia de una parte de la molécula (dadora) a otra (aceptora). Su clasificación se basa en la naturaleza química del sustrato atacado y en la del aceptor. También este grupo de enzimas actúan sobre los sustratos mas diversos, transfiriendo grupos metilo, aldehído, glucosilo, amina, sulfató, sulfúrico, etc. (Goldberg M., 1991) (Farinas E .T., 2001) (Velazco, 1999).

2.10.2 Transglutaminasa

La TGasa es una enzima que cataliza reacciones de transferencia de acilos entre proteínas, en la que los residuos glutamina actúan como donadores de grupos γ -carboxiamida, actuando como aceptor el grupo ϵ - de los residuos de lisina, aunque en ausencia de estas puede existir una reacción con aminas primarias o con el agua. La reacción dominante de este enzima, es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular (Téllez L., 2004) (Hie-joon K., 1999).

En presencia de aminas primarias, la TGasa puede unir las aminas de las glutaminas de una proteína. En ausencia de residuos de lisina o de otras aminas primarias, el agua reacciona como el aceptor resultando la desaminación de las glutaminas (Lauber S., 2000). La TGasa es una enzima ampliamente distribuida en los organismos vivos. Se encuentra en:

- Plantas: forma el citoesqueleto y es parte de la pared celular.
- En microorganismos (MTGasa): une las proteínas durante el ensamble de la cubierta (pared celular).
- En el plasma de los mamíferos, cataliza el entrecruzamiento de las moléculas de fibrina durante la coagulación de la sangre.

Esta última es conocida como el factor XIIIa (en la cascada de coagulación) en la sangre humana, la cual ayuda a estabilizar el sangrado formando moléculas de fibrina (Payne, 2000) (Marquez E., 2006).

Actualmente existen en el mercado algunas enzimas, como las amilasas y proteasas que promueven la hidrólisis, la MTGasa cataliza la polimerización y la unión cruzada o entrecruzamiento de proteínas, denominado en inglés *crosslinking* (Lauber S., 2000).

En un principio se utilizó la TGasa obtenida del hígado de cobayo o del plasma de bovino. A finales de los ochentas, se utilizó la MTGasa obtenida a partir del *Streptovercillium sp.* y desde entonces se comercializa. Al no contener algunos alimentos iones calcio, al utilizar TGasa se necesitaría adicionar también iones calcio, lo que en algunos casos resulta con la formación de complejos calcio-proteína. En estos casos, la utilización de la MTGasa al ser una enzima calcio independiente es una solución adecuada al no requerir iones calcio.

La TG puede unir a un aminoácido mediante un enlace covalente con la proteína previniendo que el aminoácido sea destruido, mejora la flexibilidad y textura de los alimentos ya que cataliza la unión intra e intermolecular de las proteínas. Al no tener características sensoriales apreciables, no repercute directamente en el sabor, color u olor de los alimentos pero sí modifica favorablemente las propiedades (textura cohesión y reestructuración) de los productos (Hie-joon K., 1999). La TG no se encuentra enlistada en el Codex Alimentarius; sin embargo, se puede tomar como referencia al USDA, donde se permite el uso de TG como aditivo alimentario desde octubre del 2000.

La TGasa es activa en un rango de pH, entre 5 – 9 y en un amplio intervalo de temperatura entre 4 a 75 °C siendo 50 °C su temperatura óptima y se inactiva cuando se calienta a 80 °C x 15 min. (Hie-joon K., 1999) (Payne, 2000).

Disponibilidad de residuos de glutamina y lisina en proteínas sustrato

Para que se lleve a cabo la reacción de entrecruzamiento (*crosslinking*) enzima–proteína, se necesita una exposición suficiente de los residuos de lisina y glutamina de las proteínas sustrato. Algún tipo de proteínas no cárnicas, como la caseína y la gelatina son fácilmente entrecruzadas por la MTGasa, debido a su amplia disponibilidad de la lisinas y glutaminas presentes en sus proteínas. En contraste muchas otras proteínas de los alimentos tienen estructuras más rígidas que evitan el dicho *crosslinking* (Lauber S., 2000).

REACCIONES DE ENTRECRUZAMIENTO DE PROTEÍNAS

Entrecruzamiento (*crosslinking*) no limitado de proteínas

El *crosslinking* de las proteínas, lleva a la formación de dímeros, trímeros y grandes polímeros de proteínas. Sin ninguna interfase, la reacción de entrecruzamiento continuará hasta que ya no estén disponibles la glutamina y la lisina para la enzima. Cuando se usan temperaturas donde la MTGasa es estable en periodos prolongados, la formación de una red polimérica de proteínas podría estar eventualmente limitada por la accesibilidad de los aminoácidos y la movilidad de la MTGasa. Esto puede provocar un descenso de la actividad enzimática con el tiempo (Lauber S., 2000).

La formación de un gel es uno de los principales efectos del *crosslinking* de la proteína por la MTGasa. La gelificación de las soluciones de proteína se ha realizado con caseína, yema de huevo, clara de huevo, caseinato de sodio y gelatina. Debido a que el enlace isopeptídico es estable a temperaturas altas, el proceso de gelificación es irreversible. La funcionalidad de la proteína por si mismo puede ser modificada de varias maneras usando MTGasa. Bishop y Lasser 1997, mostraron que un gel termoestable puede ser producido a una temperatura menor de 100° C usando MTGasa. El entrecruzamiento de una gelatina puede ser realizada por encima del punto de ebullición cuando está en solución, pero también por debajo del punto de ebullición por medio de un proceso de asentamiento en frío usando MTGasa. El entrecruzamiento de la gelatina con MTGasa reduce la fuerza de gel de la gelatina (Sakamoto et al., 1997).

Entrecruzamiento parcial de la proteína

Cuando las MTGasa se emplean para provocar cambios en la funcionalidad de proteínas a parte de la gelificación directa o el incremento de la viscosidad, con frecuencia solo el *crosslinking* es suficiente para obtener resultados óptimos. Por otro lado, cuando se preparan ingredientes proteicos, la formación de geles de polímeros de alto peso molecular puede causar problemas en el procesamiento del material cuando se desea obtener un polvo de proteína seca. Para establecer el grado óptimo del *crosslinking*, las muestras, deben ser preparadas y probadas para la funcionalidad deseada. El

calentamiento, el cambio en el pH, o la adición de un inhibidor de MTGasa, pueden ser útiles para detener la reacción de *crosslinking* en el punto adecuado. El calentamiento es la técnica más adecuada para lograr la inactivación en el momento deseado (Lauber S., 2000).

MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE TRANSGLUTAMINASA

La producción de MTGasa a partir de microorganismos se descubrió a finales de la década de los ochenta. Entre los cultivos que se ha encontrado que producen esta enzima extracelular destacan los géneros de *Streptovercillium* sp. y *Streptomyces* sp. Las especies de *Streptovercillium* en las que se ha encontrado la capacidad de producir MTGasa son (Zhu *et al*, 1995):

- *Streptovercillium* S-8112
- *S. Griseocarneum*
- *S. Cinnamoneum*
- *S. Mobarense*

APLICACIONES DE LA TRANSGLUTAMINASA EN ALIMENTOS

Los estudios de las aplicaciones de esta enzima en alimentos empezaron con la TGasa extraída de mamíferos, lo que era extremadamente caro cuando se llevaba a escala industrial. Sin embargo, recientemente se ha desarrollado la producción de la MTGasa, producida por fermentación. La MTGasa no requiere iones calcio para su funcionamiento, por tanto, tiene una mayor aplicación en alimentos.

La producción de MTGasa hace posible aplicar esta enzima en una gran variedad de procesos alimentarios. Por ejemplo, la aplicación de la MTGasa en la industria de carnes es muy amplia pues actúa en todo tipo de material proteico.

En el procesamiento de la carne es de gran interés aumentar la producción comercial. Esto incluye el desarrollo de métodos para la reestructuración de cortes de bajo valor, mejorando su apariencia, sabor y

textura, y para realzar el valor en el mercado. El tratamiento de reestructuración comúnmente involucra la reducción de tamaño, re-formación y ligado.

El uso de la MTGasa en la industria de los alimentos se inició en Japón con la manufactura de los productos derivados del surimi (pasta de pescado). Los primeros estudios realizados sobre las propiedades del surimi tratados con MTGasa fueron también en Japón, cuyo objetivo principal era el efecto de la MTGasa sobre las propiedades físicas del gel de surimi (Motoki, S., 1998) (Sakamoto, 1997).

2.11 Carrageninas

Las Carrageninas son un grupo de carbohidratos naturales que están presentes en la estructura de ciertas variedades de algas rojas (Rhodophyceae). Estos carbohidratos tienen la particularidad de formar coloides espesos o geles en medios acuosos. Los hidrocoloides son extraídos por medio de una serie de procesos químicos y físicos del agua, obteniéndose un ingrediente funcional de gran aplicación en productos alimenticios, cosmetológicos y otros (Piestrasik Z., 2000).

Existen tres tipos importantes de carragenano, designados cada uno de ellos mediante una letra griega ι iota, κ kappa, λ Lambda.

El **Kappa (κ)** carragenano forma geles rígidos y quebradizos, semejantes a los del agar, en presencia de iones potasio. Son más opacos pero la transparencia aumenta en presencia de azúcar. Estos geles son muy propensos a la sinéresis, tanto más cuanto mayor sea la concentración de potasio, y no resisten la congelación / descongelación, siendo la sinéresis aún mayor en presencia de iones calcio. Se utiliza en concentraciones entre el 0,02 % y el 2%.

El **iota (ι)** carragenano forma geles en presencia de iones calcio, geles que son elásticos, sin tendencia a la sinéresis y que resisten la congelación. Este tipo de carragenano mejora las propiedades de los geles de almidón, evitando la sinéresis y obtener geles mucho más resistentes (Truis A., 1996) (Paula H., 1999).

La variabilidad de las propiedades de los carragenanos en función de cual sea el tipo predominante, los hace muy versátiles, y cada vez tienen más aplicaciones en la industria alimentaria. La interacción con las micelas de caseína hace que el carragenano tenga aplicaciones en todos los materiales que contienen leche. Además de formar geles, a concentraciones muy bajas, del orden del 0,02% estabiliza suspensiones en medios lácteos, como batidos. También se comporta muy bien en productos cárnicos procesados y reestructurados, y en postres de tipo gelatina, mermeladas y derivados de frutas, siempre que el pH sea superior a 3,5

Las carrageninas kappa e iota forman gel, mientras que la fracción lambda es básicamente para aplicaciones como espesante y suspensor.

Los carragenanos son solubles en caliente, a temperaturas del orden de 80°C, y se mantienen en disolución al enfriar, si se encuentran en forma de sal sódica. Los geles de carragenano son reversibles térmicamente. A pH neutro, el calentamiento prácticamente no le afecta, aunque las cadenas se rompen por hidrólisis cuando se calienta en medio ácido, especialmente por debajo de pH 3,5 (Piestrasik Z., 2000).

APLICACIÓN EN CÁRNICOS

La propiedad de las Carrageninas de dar textura y formar geles muy firmes en medio acuoso, junto con su alta reactividad con las proteínas cárnicas para la fabricación de productos elaborados de carne.

La Carragenina utilizada en la elaboración de productos cárnicos cumple con las siguientes funciones:

- Ayuda a mantener la calidad del producto, ya que mejora las propiedades texturales.
- Facilita la fabricación de las carnes procesadas, controlando la jugosidad y liberando el sabor.
- Contribuye a la retención de humedad durante la cocción.
- Mejora el corte y rendimiento en los productos procesados.
- Ayuda a estabilizar la emulsión en carnes molidas.
- Ayuda a la formación del producto final deseado.

- Mejora la estabilidad del deshielo en productos congelados.

Las principales aplicaciones de la Carragenina en los productos cárnicos se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Elaboración de jamones y carnes curadas con adición de salmuera.
- Elaboración de masas y embutidos.
- Elaboración de hamburguesas, apanados de pollo, análogos de pescado, reestructurados de carne, etc.

ELABORACIÓN DE MASAS Y EMULSIONES DE CARNE

Las Carrageninas son también utilizadas en la elaboración de masas y emulsiones cárnicas, debido a que ayudan a estabilizar las emulsiones, sirven como agentes plastificantes y retienen humedad en el producto.

Las principales funciones que cumple la Carragenina en este tipo de productos son:

- Previene la separación de grasa, es decir, ayuda a la estabilidad de la emulsión lo que se debe a la interacción de las Carrageninas con las proteínas cárnicas.
- Actúa como agente ligante para dar una cierta textura deseada y homogeneidad al producto final.
- Retiene humedad en el producto final durante la elaboración y el almacenamiento.
- Sirve como un sustituto graso para dar plasticidad en productos de bajo contenido graso.

En el caso de las pastas finas, mortadelas, salchichas y otros embutidos, la Carragenina es agregada como polvo o previamente disuelta en agua durante la mezcla inicial de los ingredientes.

Las proteínas en productos molidos como aves, jamones, pescado son diferentes, por lo tanto también hay diferencias entre las interacciones de Carragenina-proteína. El gel da características elásticas e imparte características de textura realizando las de un producto graso sin tener grasa en el producto final (Truis A., 1996) (Paula H., 1999) (Piestrasik Z., 2000).

2.12 La pérdida por cocción

La cocción puede considerarse la parte más importante en el proceso de elaboración de los productos cárnicos reestructurados de res, ya que por medio de este se introducen las masas cárnicas en sus respectivos moldes a la acción del calor húmedo o seco, hasta que alcancen en su centro térmico una temperatura de 90 °C. (NOM-145-SSA1-1995). Durante este paso se logran las características de gelificación en el producto, obteniendo finalmente un producto cárnico reestructurado (Alan H. 1995). Por consiguiente es necesario determinar la pérdida de agua durante la cocción.

2.13 Capacidad de retención de agua (CRA)

Un factor de calidad que se considera en la carne, es el agua retenida en el seno de una red de fibras musculares. La funcionalidad de una proteína, incluye toda propiedad que interviene en la expresión de los atributos sensoriales de los alimentos, además de su función nutricional. También se definen como cualquier propiedad física o química que afecta y modifica algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final o durante el proceso, almacenamiento, preparación y consumo del mismo.

Las propiedades funcionales de una proteína dependen de las interacciones de las proteínas con los otros constituyentes de los alimentos, como carbohidratos, lípidos, agua y sales. Sin embargo, también dependen de factores intrínsecos propios de la molécula (conformación, relación y disposición de los aminoácidos, hidrofobicidad, ionización, carga eléctrica, forma, peso molecular, etc.), así como de factores extrínsecos del medio que los rodea, y que en ocasiones pueden modificarse (pH, fuerza iónica, temperatura, actividad acuosa, constante dieléctrica, etc.) (Mossel, 1982) (Adams M.R., 1997) (Atlas R.M., 2002).

La CRA es la propiedad que tienen las proteínas que al estar en estado seco, se hidratan mediante sus aminoácidos hidrófilos y retienen una cantidad de agua que está en equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente. También se refiere a la habilidad de una proteína a absorber y retener moléculas de agua a pesar de la gravedad. Esta agua incluye agua ligada,

agua hidrodinámica, agua capilar y agua físicamente atrapada. El agua físicamente atrapada representa la fracción más grande.

Al colocar la molécula hidratada en un recipiente con agua, tenderá a saturar sus grupos hidrófilos con el disolvente hasta llegar a la solubilización; la velocidad de este proceso es diferente para cada material. En general, cuanto más desnaturalizada esté la proteína más difícil es la solubilización puesto que se facilitan las interacciones proteína-proteína y se promueve la precipitación. Según sea la relación de concentraciones del polipéptido y del agua, la solución puede adquirir diferentes grados de viscosidad; en ocasiones es posible establecer un gel mediante la creación de una red tridimensional de proteínas en la que queda atrapada el agua (Mossel, 1982) (Adams M.R., 1997) (Atlas R.M., 2002).

La fijación del agua por las proteínas decrece cuando la temperatura se eleva, debido a la disminución de enlaces hidrógeno. Durante el calentamiento se produce una desnaturalización y agregación que puede reducir la superficie de la molécula proteica y la disponibilidad de grupos polares para fijar el agua. Sin embargo, cuando se calientan proteínas de estructura muy compacta, se produce una disociación y desdoblamiento de moléculas que puede ocasionar la exposición superficial de enlaces peptídicos y de cadenas laterales polares antes inactivos que mejoran la fijación del agua. Por otro lado, diversas proteínas tales como las del lactosuero pueden sufrir una gelificación irreversible cuando se calientan. El tamaño, la porosidad superficial y porosidad interna de las partículas proteicas deshidratadas también influyen en la velocidad e intensidad de la absorción del agua (Adams M.R., 1997) (Atlas R.M., 2002).

2.14 Color

El color es un fenómeno físico que cuenta con infinitas combinaciones de luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético, la cual percibimos través de los órganos de la visión, obteniendo un resultado perceptual de la incidencia sobre nuestra retina de una radiación electromagnética, cuya longitud de onda está comprendida

entre 370 y los 730 nm. En términos prácticos se ha establecido un rango entre los 400 y 700 nm (un nm equivale a 10^{-6} mm). Esto se traduce a que todo cuerpo iluminado absorbe todas, o parte, de las ondas electromagnéticas reflejando las que no son absorbidas, siendo éstas, analizadas por el ojo e interpretadas como colores según las longitudes de ondas correspondientes. El ojo humano sólo percibe el color cuando la iluminación es abundante, pues en condiciones de poca luz sólo procesamos éste estímulo, traducido en blanco o negro. Así tenemos que para percibir un color se necesita que estén presentes tres elementos: fuente de luz (iluminante), un objeto (muestra) y un observador (procesador) (Francis F. 1995).

En el área de los alimentos, éste factor interpreta una variedad de características que nos ayudan a determinar la calidad de los mismos. Por ejemplo, relacionamos generalmente la madurez o el grado de descomposición de un alimento con el color. También el color de un alimento puede influir de tal manera que se puede percibir como apetitivo o desagradable. Estas características pueden ser medidas con precisión en el laboratorio mediante un colorímetro o espectrofotómetro, basándose en la teoría del color junto con sus atributos (Francis F. 1995).

Cada color tiene su propia apariencia basada en tres elementos: tono o matiz, luminosidad (valor) y saturación, pureza o croma. Al describir un color usando estos tres atributos se identifica con precisión un color específico y se distingue de cualquier otro (Francis F. 1995).

Matiz. Es la forma de percibir el color de un objeto: amarillo, rojo, verde, azul, etc. En la figura 1 que se muestra a continuación se observa un anillo con los colores continuos de un matiz al siguiente y se puede percibir la combinación de un matiz con otro (HunterLab 2000).

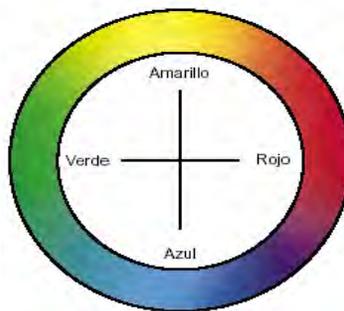


Figura 1

Croma. También llamado pureza o saturación, describe la parte llamativa o apagada de un color, es decir de acuerdo a la teoría del color, el croma, indica si el color es matiz puro o se encuentra cerca de la escala de los grises. Para entender mejor esto podemos observar la figura 2, la cual muestra como cambia el croma conforme se mueve la directriz del centro hacia la periferia. Así tenemos que los colores del centro son apagados (grises), mientras que los colores cerca de la periferia son más vivos y llamativos (saturados y puros) (HunterLab 2000).

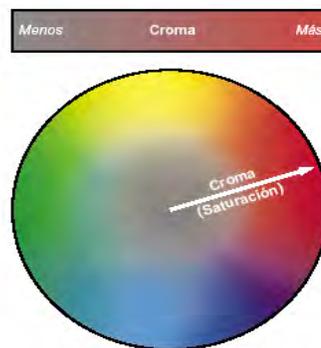


Figura 2

Luminosidad. Es la intensidad lumínica que presente el color, es decir representa el grado de claridad de un color. Al comparar estos valores, los colores pueden ser clasificados como tenues u oscuros. De acuerdo a la escala de colores, la figura 3 representa la claridad o el valor de un color en el eje vertical, que va desde el blanco (máxima luminosidad) hasta el negro (mínima luminosidad) (HunterLab 2000).

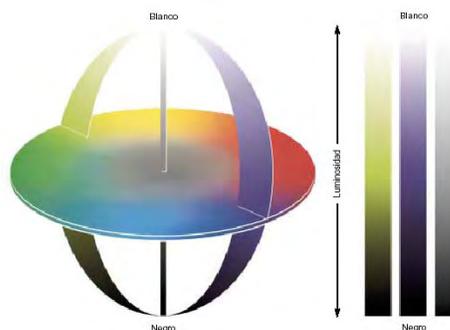


Figura 3

De acuerdo a lo anteriormente señalado podemos decir que se utilizan 3 coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen:

- CIE- XYZ
- CIE L* a* b*
- CIE L* C* h*

Los instrumentos de medición de color reciben el color de la misma manera que lo reciben nuestros ojos, mediante la captación y filtrando las longitudes de onda de la luz reflejada por un objeto. El instrumento percibe las longitudes de onda de la luz reflejada como valor numérico. Estos valores se registran como puntos dentro del espectro visible y se llaman datos espectrales. Los datos espectrales se representan como una curva espectral. Esta curva es la huella digital del color. Una vez que obtuvimos la curva de reflectancia de un color podemos aplicar las matemáticas para colocar el color en un espacio de color.

Cuando un color se expresa en CIELAB, la L* define la claridad, a* denota el valor rojo/verde y b* el valor amarillo/azul. El eje a* corre de izquierda a derecha. Una medición de color en la dirección +a* muestra un desplazamiento hacia el rojo. En el eje b* un movimiento hacia +b* representa un cambio hacia el amarillo. El centro del eje L* muestra L=0 (negro o absorción total) en el fondo.

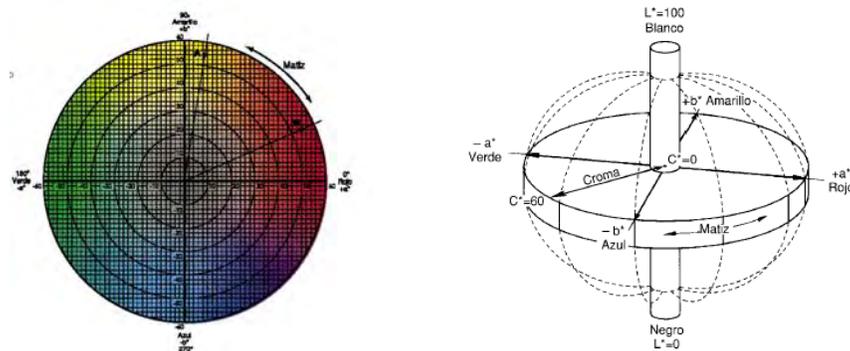


Figura 4

El análisis de color es más que una expresión numérica. Normalmente es un análisis de la igualdad o diferencia de un color al compararlo con una norma establecida. CIELAB se emplea para comparar los colores de los objetos (HunterLab 2000).

- .L* = diferencia en el valor de claridad/oscuridad + = más claro - = más oscuro
- .a* = diferencia en el eje rojo/verde + = más rojo - = más verde
- .b* = diferencia en el eje amarillo/azul + = más amarillo - = más azul
- .C* = diferencia en el croma + = más brillante - = más opaco
- .H° = diferencia en el matiz
- .E* = valor de la diferencia total de color

2.15 Textura

Muchos estímulos contribuyen a la percepción de la textura. Características audiovisuales, el tacto y movimientos, así como la piel, los cuales son asociados a la percepción de ciertos atributos. Aunado a estas, se encuentran en el paladar, lengua, y membrana periodontal, los cuales presentan terminaciones nerviosas. Proporcionando información de la posición de mandíbula, tensión muscular y distancia.

La percepción humana de la textura de los alimentos se describe como, un proceso cíclico que empieza con señales visuales. Aspectos de la apariencia del alimento como, color, tamaño y forma, al igual que los aspectos de estructura se atribuyen a la interacción física del alimento. Visualmente se pueden modificar la apariencia de los alimentos, debidos a la alteración añadida a la impresión de la textura del alimento.

Antes de que el alimento esté en la boca, se acumulan conocimientos de la textura de los alimentos ya sean visuales, palpables y hasta de estímulos auditivos, los cuales modificaran las características de este.

En un porcentaje alto de corte producido por el movimiento de la lengua, el alimento es deformado y humedecido. Bajo estas condiciones son percibidas características de comportamiento tales como elasticidad, adhesividad al paladar y viscosidad (Civille G.V., 1973).

Durante las primeras mordidas la estructura pierde su organización, presentando un ciclo en el cual se fractura el material quebradizo, se desgarran el material fibroso, seguido a esto el alimento es amasado y finalmente se forma el bolo alimenticio (alimento y saliva).

Los atributos de textura son aquellos que se asocian a su particular naturaleza (suavidad, aspereza, granulosidad, endurecimiento) y a su consistencia (cremosidad, humectación) y adhesión al paladar (adhesividad) (Otremba, 2000).

Durante la masticación, la estructura es fracturada por acción mecánica. La lubricación se lleva a cabo mediante la saliva, pero también se origina de la composición del alimento en términos de humedad y grasa, ambos actúan como lubricantes. Los cambios de estructura y lubricación, ocurren hasta el punto donde el alimento es ingerido. Después de ingerir el alimento, se percibe una impresión residual de masticación que proviene de los restos del alimento desintegrado y de materiales adheridos a la boca.

Tales atributos incluyen las propiedades de derretirse en el paladar, sensaciones como: grasosidad, chiclosidad y fibrosidad. Debido a que la percepción de los alimentos es un proceso cíclico, la información acumulada durante la manipulación, mordisqueo, masticado e ingesta del alimento, se presenta con anticipación para nuestra próxima porción.

Existen las características mecánicas, las cuales influyen sobre el comportamiento del alimento en la boca, y que son básicamente cinco los parámetros involucrados:

- Dureza (firmeza). Fuerza necesaria para lograr una deformación dada.
- Cohesividad: Fuerza de interacción que tienen los enlaces internos que forman el cuerpo del producto.
- Viscosidad: Tasa de flujo por unidad de fuerza.
- Elasticidad: Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de que la fuerza deformante ha sido retirada.
- Adhesividad: Fuerza necesaria para sobreponerse a las fuerzas de atracción existentes entre la superficie de un alimento y la superficie de los componentes de la boca como lengua, dientes, y paladar.

Estos parámetros se definen como «parámetros primarios» y se considera necesario caracterizar la textura de un alimento en tres términos adicionales y denominándoles «parámetros secundarios» como:

- Fragilidad: Fuerza con que un material se fractura. Está relacionada con los parámetros primarios de dureza y cohesividad. En materiales frágiles, la cohesividad es baja y la dureza puede variar de baja a alta. Los materiales frágiles, en particular aquellos que poseen un grado sustancial de dureza, frecuentemente producen efectos sonoros durante la masticación.
- Masticabilidad: Energía necesaria para masticar un alimento sólido a un estado listo para deglutir. Relacionado a los parámetros primarios de dureza, cohesividad y elasticidad.
- Gomosidad: Energía requerida para desintegrar un alimento semi-sólido a un estado listo para deglutir. Esta relacionado a los parámetros primarios de dureza y cohesividad. En alimentos gomosos, el grado de dureza es bajo y el grado de cohesividad es alto.

Una prueba imitativa que ha captado la atención de muchos tecnólogos en alimentos, debido a que propone dar valores estandarizados de la textura en alimentos es el Análisis de Perfil de Textura (APT) ó (Texture profile análisis TPA) definiéndose una variedad de términos de textura, los cuales se explican en el cuadro 4. Para cada uno de los atributos sensoriales, se utilizan diferentes escalas de valores estándar en diferentes alimentos, así como diferentes aditamentos requeridos para diferentes tipos de alimentos sólidos, semisólidos o líquidos. El desarrollo del TPA ha proporcionado una gran ayuda para el asesoramiento de textura de los alimentos. La técnica es claramente imitativa a la boca, pero existen diferencia entre la prueba instrumental y humana (control de temperatura y saliva) (Civille G.V., 1973) (Hongsprabhas, B., 1999) (Otremba, 2000).

Cuadro 4. Términos descriptivos de las propiedades de textura

Propiedades Primarias	Términos descriptivos
Dureza	Suave, firme, duro
Cohesividad	Gelatinoso
Viscosidad	Diluido, acuoso, espeso
Elasticidad	Elástico
Adhesividad	Pegajoso, mieloso
Propiedades Secundarias	
Fragilidad	Frágil, se desmorona, crujiente
Masticabilidad	Tierno, masticable, correoso
Gomosidad	Pastoso, gomoso, harinoso, arenoso

(Otremba, 2000)

HIPÓTESIS

Determinando las condiciones óptimas de incubación en la reestructuración cárnica de res con la adición de transglutaminasa microbiana, se obtendrá la concentración necesaria de enzima promoviendo así su máxima actividad, con lo cual se abre la posibilidad de elaborar productos cárnicos reestructurados de res (Tipo Jamón).

OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la interacción de la enzima transglutaminasa con carrageninas en la elaboración de un producto cárnico reestructurado de res (Tipo jamón) y medir su eficiencia para lograr productos estables a temperatura de refrigeración y durante la cocción.

3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el efecto de la MTGasa en la reestructuración para la elaboración de un producto cárnico de res (Tipo jamón).
- b) Determinar el efecto de la interacción de los diferentes tipos de carrageninas con la MTGasa en el producto cárnico.
- c) Evaluar la eficiencia de la enzima en función de la estabilidad que presente el producto al ser rebanado a temperatura de refrigeración y de cocción.
- d) Evaluar los cambios en la textura y cohesión con y sin la utilización de la MTGasa en el producto reestructurado de res, tipo jamón.
- e) Evaluar el efecto de 2 tipos de Carrageninas en la elaboración de productos cárnicos reestructurados.

METODOLOGÍA

4.1 Estrategia general

Esta investigación se dividió en dos etapas; la primera se concentró en determinar el efecto de la enzima MTGasa y su interacción con 2 diferentes tipos de carrageninas (A y B) en geles elaborados con carne de res y se evaluó si estos son estables a temperatura de refrigeración y de cocción.

Cuadro 5. Estrategia general del experimento

Carragenina	0% Transglutaminasa			0.3% Transglutaminasa		
	Refrigeración	Cocción	50° C	Refrigeración	Cocción	50° C
1%	12 hrs	directa	30 min	12 hrs	directa	30 min
Control	Tx 1	Tx 2	Tx 3	Tx 10	Tx 11	Tx 12
A	Tx 4	Tx 5	Tx 6	Tx 13	Tx 14	Tx 15
B	Tx 7	Tx 8	Tx 9	Tx 16	Tx 17	Tx 18

A= Carragenina 1, B= Carragenina 2, Tx= Tratamiento

La segunda etapa estuvo centrada en la elaboración de un producto cárnico de res (Tipo jamón) y se evaluó el efecto del uso de la MTGasa y carragenina sobre la reestructuración del producto cárnico por medio de un análisis que incluyó: la prueba de punción y TPA, los cuales forman parte de la determinación de textura.

4.2 Desarrollo experimental

4.2.1 ETAPA 1

4.2.1.1 Elaboración de geles cárnicos de res

Para la elaboración de los geles se empleó carne de res de la parte anterior de la canal, esta tenía una temperatura de 2°C y fue procesada al momento de su adquisición. La carne se limpió, es decir, se le retiró tendones, fascias y el exceso de grasa intermuscular. Una vez limpia se cortó en trozos pequeños, homogenizándolos para disminuir la variación entre tratamientos por la diferencia en la composición entre los cortes de carne. A continuación, la carne fue molida en un molino de tornillo con un cedazo de ¼ de diámetro, se

pesó para formar 18 diferentes grupos de 250g cada uno y aplicar los tratamientos. Los grupos formados se colocaron en una cutter uno a uno y se fueron agregando los aditivos para formar una pasta con base en carne de res, 1% de sal, 1% de carragenina (2 tipos diferentes según correspondía, A y B) y 0.3% de enzima MTGasa (a 9 de los 18 grupos), teniendo en todos los casos un grupo control (sin adición de MTGasa ni carragenina); se dejaron mezclar durante 10 minutos para asegurar la completa homogenización de los aditivos.

Una vez obtenida la pasta se embutió con una embutidora manual de acero inoxidable modelo E17-1 (Polinox S.A) en tubos de acero inoxidable de 25 cm de largo y $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro con tapones de rosca y una capacidad aproximada de 110g, por lo que se utilizaron 3 tubos por tratamiento. Los tubos fueron previamente lubricados en su interior con aceite de girasol comestible, esto para facilitar su desmolde y la extracción completa de los geles.

Los tubos se refrigeraron durante 12 horas y a continuación 6 grupos fueron tratados a una temperatura de 50°C durante 30 minutos (Activación) y 6 más a 90°C durante 30 minutos (Cocción directa). Posterior a los tratamientos aplicados los geles cárnicos fueron desmoldados de los tubos y se cortaron en cilindros de 2.5 cm de altura, colocándolos en bolsas ziploc para evitar la deshidratación de las superficies de las muestras y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis.

En base a los resultados obtenidos, se determinó qué tratamiento fue el más efectivo y este se aplicó al producto cárnico reestructurado de res, en este caso tipo jamón.

4.2.1.2 Análisis de pérdida por cocción

Se determinó la pérdida por cocción estableciendo la diferencia de peso en la muestra antes y después de la cocción. Inicialmente se midió el peso de cada tubo sin contener la pasta cárnica y posteriormente se peso al contener la pasta en su interior, es decir, cuando fue la pasta embutida en el tubo; con la diferencia de peso se obtiene el peso inicial. El peso final, fue obtenido después del desmolde de los geles.

La pérdida por cocción de cada muestra fue determinada utilizando el peso inicial y el peso final después del tratamiento y de la cocción, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida por cocción (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

4.2.1.3 Análisis de Capacidad de retención de agua

Se determinó la capacidad de retención de agua (CRA) en forma indirecta, utilizando el porcentaje de agua extraída por una fuerza externa (centrifugación), medida por la diferencia de peso. Para cada una de las determinaciones se obtuvieron 3g de las muestras, las cuales se envolvieron en papel Whatman No. 1, con un tamaño de 15 x 15 centímetros. Cada una de las determinaciones para cada una de las muestras se realizó por triplicado.

Para la determinación de la CRA se registró el peso inicial de cada una de las muestras. Las muestras envueltas fueron centrifugadas en una Centrífuga modelo Labnet 2323K, HERMLEL, NJ, USA a 1000 rpm durante 5 minutos obteniendo el peso final de la muestra después de la centrifugación.

La CRA de cada una de las muestras fue determinada en forma indirecta utilizando el porcentaje del agua extraída por centrifugación de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Agua extraída (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

4.2.1.4 Análisis de color

Los atributos del color y la reflectancia de las muestras analizadas en este estudio fueron determinados con un espectrofotómetro portátil calibrado con una teja blanca, identificada como estándar. El análisis a cada una de las muestras se realizó por triplicado. Los parámetros obtenidos por el equipo fueron L* (claridad), a* (valor rojo/verde) y b* (valor amarillo/azul). Con los cuales se calcularon los valores de C* (croma) y h° (luminosidad).

4.2.1.5 Análisis de textura

Las muestras obtenidas de los geles elaborados en el presente estudio para la prueba de TPA, fueron cortadas a una medida de 2.5 cm de largo. Por cada tratamiento se analizaron 6 repeticiones las cuales fueron conservadas en bolsas de plástico en refrigeración hasta su análisis.

Para el análisis de perfil de textura (TPA) se utilizó un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Vienna Court, England). Para la determinación se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio (P/50) con 50 mm de diámetro. Las muestras se comprimieron a 75% de su altura inicial usando una velocidad de compresión de 1.0mm/seg. Los datos generados se analizaron con el software Texture Expert incluido en el equipo.

Los parámetros obtenidos y calculados de los datos generados por medio del análisis de textura con la prueba de TPA fueron; Dureza, Fractura, Elasticidad, Cohesividad y Masticabilidad para cada una de las muestras.

De igual forma se obtuvieron muestras para poder realizar la prueba de punción, estas fueron cortadas a una medida de 2.5 cm. Por cada tratamiento se analizaron 6 repeticiones las cuales fueron conservadas en bolsas de plástico en refrigeración hasta su posterior análisis. Para el análisis de punción se utilizó un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Vienna Court, England).

Para la determinación se utilizó una sonda esférica de acero inoxidable de ½ pulgada de diámetro (P/0.5S), presionando las muestras hasta un 80% de la altura inicial, a una velocidad de 1.0mm/seg. Los datos generados se analizaron con el software Texture Expert incluido en el equipo.

Los parámetros obtenidos y calculados de los datos generados por el análisis de textura con la prueba de punción fueron: fuerza gel (Kg), deformación (cm) y la fuerza de ruptura o fractura, este último se obtiene por la multiplicación del valor de fuerza del gel por la deformación (Kg x cm), para cada una de las muestras.

4.2.2 ETAPA 2

Desarrollo y estandarización de la técnica de elaboración de un producto tipo jamón con base en carne de res, elaborado con materia prima de calidad proveniente de rastros TIF que cumplan con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-Z00-1994, Proceso sanitario de la carne; en este caso el cuarto delantero es el que se empleó en la elaboración del producto cárnico.

Al estandarizar el producto, a este se le aplicó en base a los resultados obtenidos, el tratamiento más efectivo utilizado en los geles reestructurados cárnicos.

4.2.2.1 Definición del producto

Jamón: Producto crudo elaborado con piezas de carne o subproductos y conservados por medio de un proceso de salado, pudiendo ser curados o no, ahumados o no y secados o no.

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 establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003, Jamón-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

4.2.2.2 Formulación del producto

	Carne de res	1kg	
	<u>Salmuera:</u>		
	Agua	.500	ml
	Sal común	15.0	g
	Sal cura	8.3	g
	Azúcar refinada	6.3	g
	Sabor humo	4.2	g
	California	4.2	g

+	Fécula de papa	25.0 g
+	Eritorbato de sodio	1.7 g
+	Hamine fosfato	6.3 g

Se formaron 3 grupos con 10 jamones cada uno, partiendo de la formulación mencionada anteriormente y a estos se les agregó un diferente tratamiento basado en los resultados obtenidos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tratamientos de los productos cárnicos

TIPO JAMON GPO. 1 n = 10	TIPO JAMON GPO. 2 n = 10	TIPO JAMON GPO. 3 n = 10
Formulación	Formulación	Formulación
No Tratamiento	Enzima (MTGasa)	Enzima (MTGasa) + Carragenina

4.2.2.3 Elaboración del producto

A la carne se le quitó el exceso de grasa, fascias, restos de sangre, contusiones, nervios y venas. Se cortó la carne en trozos delgados de 20 g aproximadamente, manteniéndose entre 3 a 5°C y permaneció así durante la elaboración del producto, posteriormente se tenderizó, es decir, se rasgó la carne con un cuchillo para que penetrara mejor la salmuera. Se pesó el total de la carne y de acuerdo a esto se pesaron los ingredientes.

Preparación la salmuera: se disolvieron uno a uno los ingredientes en agua fría, el último ingrediente fue el fosfato que se introduce al final para que no precipite. Se introdujo la carne en la salmuera (fría) y se comenzó a revolver manualmente con una cuchara grande, durante un período de 4 horas, de las cuales se revolvió media hora y se dejó reposar media hora para que penetrara mejor la salmuera. Se refrigeró la pasta durante 24 horas a una temperatura de 3°C. Al siguiente día se repitió el procedimiento de amasado.

Una vez reposada la pasta se colocó en los moldes previamente cubiertos con las bolsas de plástico y se acomodó bien para evitar que la pasta se saliera, se les pusieron las tapas y se prensaron sin apretar demasiado. Posteriormente se pusieron los moldes a cocimiento en una olla con agua a una temperatura de 70°C dando una hora por cada kilogramo de pasta. Transcurrido ese tiempo se sacaron los moldes de la olla y se pusieron en una tina con agua fría, solamente unos minutos hasta que se enfrió el molde, a continuación se destaparon los moldes y se volteó la pieza, volviendo a prensar el molde, hecho este paso se procedió a meterlo al refrigerador durante 12 horas. Se desmoldó el jamón, se rebanó a un grosor de 2 cm de ancho y se empacó al vacío hasta su posterior análisis.

4.2.2.4 Análisis

Los productos finales fueron sometidos a los diferentes análisis realizados en la etapa uno de la investigación y siguiendo la misma metodología:

- Determinación de color. Los atributos del color y la reflectancia de las muestras fueron analizadas con un espectrofotómetro portátil. El análisis a cada una de las muestras se realizó por triplicado. Los parámetros obtenidos por el miniscan Hunter-lab fueron L* ó claridad, a* ó valor rojo/verde y b* ó valor amarillo/azul, con los cuales se calcularon los valores de C* ó croma y h° ó luminosidad.
- Determinación de Textura por medio del análisis de textura. Se basa en la medición de las características reológicas del alimento bajo condiciones definidas y controladas, midiendo los cambios reológicos del alimento dependiendo de las características de alimento o su formulación.
- Análisis Sensorial. Los productos elaborados se sometieron a un estudio de sus propiedades sensoriales. Utilizando para esto una prueba

sensorial con panelistas no entrenados (consumidores de diversas escalas sociales, culturales y hábitos alimenticios). La cual se basó en la utilización de la escala Hedónica estructurada, en la cual 1 significa disgusta extremadamente y 7 gusta extremadamente, con la cual el panelista respondió y eligió el producto basado en los atributos sensoriales que le ofrecen los diferentes productos de acuerdo a su nivel de agrado (Meilgaard, M. y col., 1991). Los productos fueron codificados aleatoriamente y proporcionados a los panelistas. Las muestras se presentaron a los jueces en una charola junto con una galleta habanera (sin sal) y un vaso de agua para enjuagar su boca (Pedrero, 1986).

4.3 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se empleó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1995), haciendo uso del modelo GLM (General Lineal Model) con la finalidad de hacer un análisis de varianza entre los diferentes tratamientos aplicados tanto en los geles como en los jamones elaborados, evaluando cada una de las variables de clase. Teniendo como variables independientes la carragenina, la MTGasa y el tratamiento térmico y como dependientes las mediciones obtenidas. Posterior al ANOVA se realizó una separación de medias por el método Least Squares Means (Lsmeans) para de esta forma obtener las interacciones entre variables.

RESULTADOS

5.1 Etapa 1

El objetivo de la etapa 1 consistía en determinar el efecto de la enzima MTGasa y su interacción con 2 diferentes tipos de carrageninas en geles elaborados con carne de res y se evaluó si estos son estables a temperatura de refrigeración y de cocción. A continuación se analizarán los resultados obtenidos en los geles cárnicos elaborados en lo que respecta a pérdida por cocción, CRA, color y parámetros de textura.

5.1.1 Análisis de pérdida por cocción y CRA

En los Cuadros 1 al 4 se pueden observar los valores obtenidos en lo que respecta a la pérdida por cocción y la capacidad de retención de agua (CRA) de los geles cárnicos de res.

Podemos notar que la CRA presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el tipo de carragenina (Cuadro 2) y los tratamientos aplicados (Cuadro 3), al observar el tipo de tratamiento notamos que los geles que fueron sometidos a una temperatura de activación y cocción presentan una CRA mayor (19.67 ± 0.91 y 18.33 ± 0.91) que los que solo se sometieron a refrigeración (14.01 ± 0.91), sin embargo al evaluar la adición de MTGasa no se presenta ninguna diferencia en los grupos (Cuadro 1), y de igual manera la interacción de las variables carragenina, MTGasa y tratamiento térmico no fue significativa en ninguno de los casos.

Los cuadros también muestran que si existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en lo que respecta a la interacción del uso de carragenina y el tratamiento térmico aplicado sobre la pérdida por cocción, al aplicar un tratamiento térmico sin la utilización de carragenina se presentan mayores pérdidas (2.11 ± 0.16 , 2.15 ± 0.16) que en los grupos sometidos al mismo tratamiento pero con uso de la carragenina (0.51 ± 0.16 , 0.58 ± 0.16).

En general los resultados nos indican que no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) al usar o no la MTGasa, sin embargo el tratamiento

térmico si tiene una influencia positiva sobre los geles y se reflejan en los resultados obtenidos.

5.1.2 Análisis de color

Los atributos de color de los geles cárnicos de res, croma y hue son mostrados en los Cuadros 5 al 10.

En el Cuadro 5 se puede observar que la adición de 0.3% de MTGasa no presenta una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con y sin la utilización de la enzima en ambos parámetros, sin embargo los parámetros de color fueron ligeramente modificados al agregar la carragenina (Cuadro 6) y principalmente por el tratamiento térmico (Cuadro 7).

Los valores de croma y hue aumentaron significativamente ($P \leq 0.05$) en los geles a los cuales se les agregó la carragenina, sin presentar diferencias entre una carragenina y otra. Podemos notar que estadísticamente ($P \leq 0.05$) el grupo de los geles refrigerados (49.50 ± 0.37) presenta los valores mas bajos de hue, con respecto a los tratados a temperatura de activación y cocción (67.24 ± 0.37 , 67.70 ± 0.37) y en cuanto al croma observamos que el grupo sin tratamiento térmico presenta el valor mas alto (16.22 ± 0.35), lo que nos indica que es un color mas puro.

Al someter a los geles a un tratamiento térmico, la carne pierde su color original y esto se demuestra al analizar el Cuadro 7, observamos que los geles sometidos a una temperatura de activación (55°C) presentan un croma de 8.94 ± 0.35 y al someterlos a un tratamiento con una temperatura más elevada (90°C) nos dan un valor de 10.45 ± 0.35 .

En los Cuadros 8 al 10 se presentan los resultados de las interacciones de las 3 diferentes variables (MTGasa, carragenina, tratamiento térmico) donde se puede observar que sí existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables croma y hue.

Los valores de croma aumentaron significativamente ($P \leq 0.05$) en los geles cárnicos cuando fueron incubados a 90°C sin MTGasa, sin embargo al agregarse 0.3% de la enzima estos valores disminuyeron y los grupos fueron significativamente iguales ($P \leq 0.05$) en los tratados a 50 y 90°C .

La interacción entre el uso de la enzima y la carragenina se muestra en el Cuadro 9, el cual nos indica que sí existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los grupos tratados con y sin la MTGasa sin importar la adición y tipo de carragenina.

5.1.3 Análisis de textura

5.1.3.1 TPA

El modelo estadístico aplicado en el análisis de textura del TPA, mostró que la adición de 0.3% MTGasa evaluada sin interacción de las otras variables (carragenina y tratamiento térmico) no fue significativa ($P > 0.05$), esto se presenta en el Cuadro 11. Sin embargo, al evaluar la adición de carragenina (Cuadro 12) se observa que la fractura y dureza de los geles fue ($P > 0.05$) similar en lo que respecta a los grupos adicionados con carragenina (5.49 ± 0.07 , 5.54 ± 0.07) y diferente en los grupos a los cuales no se les agregó (4.61 ± 0.07). Sobre la elasticidad y cohesividad de los geles podemos observar que los 3 grupos son iguales estadísticamente ($P > 0.05$), esto nos dice que el agregar o no la carragenina no afecta estos parámetros. El Cuadro 13 muestra los resultados obtenidos en los parámetros del TPA en los geles cárnicos de res al aplicar un diferente tratamiento térmico. Los parámetros de fractura, dureza, elasticidad y masticabilidad son diferentes ($P \leq 0.05$) estadísticamente (8.05 ± 0.07 , 7.22 ± 0.07 , 0.36 ± 0.07), sin embargo al medir la cohesividad notamos que los grupos sometidos a un tratamiento térmico no son iguales estadísticamente al grupo refrigerado (0.22 ± 0.04 , 0.22 ± 0.04 , 0.20 ± 0.04).

En el Cuadro 14 se reportan los resultados de la interacción MTGasa y carragenina sobre los parámetros del TPA, podemos notar que existe un aumento constante significativo ($P \leq 0.05$) en los valores de los grupos adicionados con 0.3% MTGasa y carragenina, es decir, los geles presentan niveles más altos de textura si se les agrega la enzima y aun más elevados si se adiciona la carragenina junto con la MTGasa. El parámetro masticabilidad presenta diferencias ($P \leq 0.05$) entre los grupos adicionados o no con MTGasa siendo mayores los valores en este último.

Al adicionar 0.3% MTGasa los geles cárnicos presentaron una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los controles (sin MTGasa) de los tratamientos térmicos utilizados en este estudio (Cuadro 15). Los grupos de los geles cárnicos sin MTGasa presentaron niveles más bajos de textura comparados con los grupos a los cuales se les adicionó de la enzima. Sin embargo, el grupo con MTGasa registró niveles menores en los parámetros de TPA en los grupos a los cuales no se les aplicó ningún tratamiento térmico. La temperatura de activación modificó estadísticamente ($P \leq 0.05$) los parámetros de TPA en el grupo con MTGasa. Los geles cárnicos sometidos a cocción a 90°C y con adición de 0.3% MTGasa presentaron niveles más bajos en todos los parámetros de TPA, en comparación con los tratados a 50°C. Aumentar la temperatura del tratamiento de 50 o 90°C aumentó significativamente ($P \leq 0.05$) las propiedades mecánicas de los geles. Las propiedades mecánicas de los geles aumentaron en los parámetros de fracturabilidad y dureza cuando no se agregó la enzima y se fue aumentando la temperatura de 50 a 90°C.

En el Cuadro 16 se observan tendencias a aumentar ($P \leq 0.05$) en los parámetros de fractura y dureza, al comparar los geles refrigerados con los sometidos a un tratamiento térmico. El efecto de la refrigeración de los geles en todos los parámetros es menor en comparación con los grupos sometidos a un tratamiento térmico, lo que indica que la interacción de la temperatura y la adición de la carragenina son factores que modifican positivamente las propiedades mecánicas de los geles. En lo que respecta a los diferentes tipos de carragenina empleados se observa que existe un mínimo cambio ($P \leq 0.05$) en los valores obtenidos, sin embargo notamos que ambos grupos son estadísticamente iguales, el periodo de incubación a diferentes temperaturas no modificó las propiedades mecánicas de los geles cárnicos cuando se adiciono una u otra carragenina.

Los resultados obtenidos de la interacción de las 3 variables a medir (MTGasa, carragenina, tratamiento Térmico) se presentan en el Cuadro 17. Podemos observar que en general al aplicar la enzima y un tratamiento térmico los parámetros de textura fueron aumentando ($P \leq 0.05$) por cada tratamiento. En lo que respecta a la fractura del gel cárnico se muestra que no existe una

diferencia ($P>0.05$) entre adicionar o no la enzima sino se aplica una temperatura a la muestra, es decir, todos los grupos son iguales, sin embargo al aplicar una temperatura de 50° observamos que los valores van aumentando significativamente ($P\leq 0.05$) conforme se adiciona la enzima y posteriormente la carragenina, de igual forma notamos que no existe diferencia ($P>0.05$) entre el empleo de una carragenina u otra (10.0 ± 0.19 , 10.3 ± 0.19) al aplicar el mismo tratamiento térmico. Los geles con 0.3% de MTGasa y carragenina tipo 2 mostraron los valores más altos de textura en general. En el mismo Cuadro 17 observamos que la interacción del tratamiento térmico y la concentración de la adición de la enzima son los principales factores que modifican las propiedades mecánicas de los geles. Los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad presentaron las mejores propiedades mecánicas en los geles cárnicos con la adición de 0.3% de MTGasa incubados a 50 °C. La fracturabilidad y dureza de los geles muestra un aumento significativamente mayor por el aumento en la adición de la enzima. El control, que en este caso, son los geles refrigerados, presentaron los niveles más bajos de textura. En los tratamientos sin adición de enzima ni carragenina se presentaron los valores más bajos en los geles incubados a 50 °C. Se presentó un efecto sinérgico entre el aumento de la adición de la MTGasa y la temperatura de incubación de los geles, sumando a esto la adición de la carragenina. Los geles de los grupos sin MTGasa presentaron un aumento significativo ($P\leq 0.05$) con la adición de las carrageninas. Los resultados del efecto de la adición de 0.3% MTGasa y carrageninas incubados a 50°C durante 30 minutos en los parámetros de TPA son estadísticamente mayores que los sometidos a 90°C. El grupo de los geles cárnicos sin MTGasa presento una diferencia significativa ($P\leq 0.05$) entre los geles sin y con diferentes tipos de carragenina. Sin embargo, observamos que los grupos con carrageninas son iguales ($P>0.05$).

La simple adición de 0.3% de MTGasa modificó favorablemente todos los parámetros del TPA con respecto a los geles cárnicos del grupo al cual no se les adiciono la enzima, dentro de los grupos con MTGasa, los geles con carragenina tipo 2 presentaron los niveles máximos de fracturabilidad, presentándose una diferencia significativa ($P\leq 0.05$) comparándolos con los

geles con la carragenina tipo 1. Por otra parte los geles con MTGasa y carrageninas sometidos a un tratamiento de 50°C, presentaron valores de fracturabilidad de 10.0 ± 0.19 y 10.3 ± 0.19 respectivamente, mientras que los geles sin la enzima y sin carragenina presentaron valores de fracturabilidad de 4.68 ± 0.19 .

En general podemos concluir que los parámetros de TPA en los geles cárnicos, se incrementaron significativamente ($P\leq 0.05$) con la adición de 0.3% de MTGasa comparados con los geles sin enzima y de igual forma el empleo de la carragenina nos proporciona un aumento ($P\leq 0.05$) en estos valores sin estar presente la enzima.

5.1.3.2 Prueba de Punción

El modelo estadístico aplicado mostró que al estudiar por separado la variable MTGasa no existen diferencias significativas ($P>0.05$) entre los grupos sobre los diferentes parámetros medidos; esto se presenta en el Cuadro 18. Sin embargo, en el Cuadro 19 observamos que la variable carragenina si fue significativa ($P\leq 0.05$) en los geles cárnicos en las tres variables medidas; en lo que respecta a la fuerza de corte el análisis nos indica un aumento ($P\leq 0.05$) al agregar el hidrocoloide, ambos grupos adicionados presentan valores mayores (2.51 ± 0.03 y 2.56 ± 0.03) con respecto al grupo control (2.35 ± 0.03). Los valores de deformación y fuerza del gel en los 2 tratamientos y el grupo control son ($P>0.05$) iguales. Los resultados que se obtuvieron al analizar los tratamientos térmicos como variable independiente se muestran en el Cuadro 20; sobre la fuerza de corte y fuerza de gel existe una diferencia significativa ($P\leq 0.05$) marcada entre los 3 grupos, de igual forma notamos que en ambos parámetros los grupos sometidos a refrigeración presentan los valores mas bajos. La deformación del gel fue mayor en los geles refrigerados (17.65 ± 0.29) con respecto a los tratados a temperatura de activación y cocción (10.33 ± 0.29 , 9.92 ± 0.29) respectivamente. Se presentó una mayor fuerza del gel ($P\leq 0.05$) en los geles sometidos a 50°C.

En el Cuadro 21 se puede observar la interacción de la MTGasa y los diferentes tipos de carragenina. Sobre la fuerza de corte observamos que todos

los grupos con 0.3% de MTGasa son iguales ($P>0.05$) y los grupos sin enzima son diferentes entre sí ($P\leq 0.05$), dentro de estos 3 grupos observamos que el grupo control además de ser diferente, presenta el valor mas bajo (1.87 ± 0.04). La fuerza del gel en los grupos presenta tendencias a aumentar al adicionarse la enzima, sin embargo notamos que los grupos con 0.3% de MTGasa son ($P>0.05$) iguales.

Los resultados obtenidos en los parámetros de la fuerza de corte, deformación y fuerza de gel (prueba de punción) de los geles cárnicos son mostrados en el Cuadro 22. Aquí observamos la interacción del empleo de la MTGasa y el diferente tratamiento térmico aplicado a los geles. La fuerza de corte en todos los grupos es ($P\leq 0.05$) diferente, esto nos indica que al adicionar la enzima existe un aumento en las propiedades del gel. Sin embargo las diferentes temperaturas empleadas también ejercen un efecto positivo sobre las muestras ($P\leq 0.05$), de esta manera obtenemos el valor mas elevado (4.30 ± 0.04) en los geles que contienen 3g/kg de enzima y fueron tratados a 50°C durante 30 minutos. Sobre la deformación notamos valores mas altos en los geles sin presencia de MTGasa y aun mas elevados en los geles sometidos a refrigeración, lo que nos indica que la presencia de la enzima da consistencia y fuerza al gel, permitiéndole conservar su estado original; de igual forma notamos que no existe diferencia ($P>0.05$) en lo que respecta a las diferentes temperaturas sometidas de los geles. Los resultados obtenidos de la fuerza del gel nos indican que existe un aumento significativo ($P\leq 0.05$) y muy marcado en los valores, notamos que los grupos sometidos a refrigeración presentan los valores más bajos sin importar la adición o no de la enzima y por otra parte se observa el valor más alto en los geles adicionados con la enzima y sometidos a un tratamiento de activación de 50°C .

El Cuadro 23 muestra los resultados de la prueba de punción de los geles cárnicos incubados a los 3 diferentes tratamientos térmicos y adicionados con ambos aditivos. Sin embargo los resultados fueron significativos ($P\leq 0.05$) solo para el parámetro de fuerza de corte, por lo que solo se tomaron esos datos como representativos del estudio. Se observan tendencias a aumentar ($P\leq 0.05$) los valores en los grupos que fueron adicionados con la enzima y la

carragenina y que fueron sometidos a un tratamiento térmico, es decir, la fuerza de corte aumentó significativamente con la adición en la cantidad de la enzima y carragenina. Los geles presentaron un aumento en los valores por la simple adición de la enzima, sin embargo este aumento fue mayor con la adición del hidrocoloide, encontrando su valor máximo con la concentración de 0.3% de MTGasa, el empleo de la carragenina tipo 1 y un tratamiento de 50°C durante 30 minutos.

Podemos observar que los geles refrigerados presentan de nuevo los valores mas bajos ($P \leq 0.05$) aun agregando la enzima y carragenina, esto nos indica que el empleo de la enzima es indispensable para poder aumentar los valores del gel y de esta manera darle consistencia y fuerza; además se debe contar con un tratamiento térmico esencial para activar la enzima.

5.2 Etapa 2

Los resultados que se presentan a continuación son de los productos cárnicos reestructurados elaborados, en este caso el tipo jamón, con tres diferentes formulaciones, en las cuales lo que varió fue la adición de la MTGasa y la carragenina. Cabe destacar que los 30 productos fueron elaborados bajo la misma formulación y se sometieron a un tratamiento térmico de 70°C para su cocción.

- ❖ El grupo 1: tipo jamón que constó de 10 muestras ó jamones elaborados con la formulación mencionada en el punto 4.2.2.1.
- ❖ El grupo 2: tipo jamón que constó de 10 muestras ó jamones elaborados con la formulación mencionada en el punto 4.2.2.1 y se les adicionó 1% de carragenina.
- ❖ El grupo 3: tipo jamón constó de 10 muestras ó jamones elaborados con la formulación mencionada en el punto 4.2.2.1 y se les adicionó 1% de carragenina y 3% de MTGasa.

5.2.1 Análisis de color

Los resultados que se obtuvieron de los atributos de color se muestran en el Cuadro 24. Al analizar dichos resultados se observa que el atributo de

luminosidad (L^*) presenta una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los 3 grupos, cabe destacar que el grupo sin adición de enzima y carragenina presenta el valor más alto (59.97 ± 0.31) comparado con los adicionados (56.04 ± 0.31 y 56.95 ± 0.31), esto nos indica que los jamones sin presencia de la enzima y carragenina presentan un color mas claro, es decir, existe una mejor reflectancia. El atributo a^* de igual forma mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los 3 diferentes grupos, sin embargo aquí podemos observar que los grupos adicionados con 0.3% de la MTGasa y carragenina son iguales estadísticamente ($P > 0.05$) mostrando una mayor tonalidad de rojo el grupo adicionado con la MTGasa y carragenina, mientras que el grupo sin tratamiento presenta un valor aun mas bajo, es decir, un color rojo menos intenso. Por otra parte, los jamones de los grupos adicionados con la MTGasa y carragenina en el valor b^* , son estadísticamente iguales, sin embargo presentó el valor máximo el grupo 3, es decir, presenta un color más amarillo. Al observar la cualidad de hue notamos que el grupo sin enzima es estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) a los grupos adicionados con 0.3% de MTGasa y carragenina, esto nos indica que los jamones sin adición de enzima y carragenina son de una tonalidad de color mayor, mientras que los grupos 2 y 3 son iguales ($P > 0.05$), presentan un mismo tono de color. Al evaluar la cualidad de croma notamos que se presentó el máximo valor ($P > 0.05$) en las muestras obtenidas del grupo adicionado con la MTGasa y carragenina, sin embargo este grupo y el grupo adicionado con carragenina son iguales, lo que nos indica que tienen un grado de pureza ó saturación similar.

5.2.2 Análisis de textura

5.2.2.1 TPA

En el Cuadro 25 se reportan los resultados de la prueba de TPA realizada a los jamones, en la que cabe destacar que el grupo sin MTGasa y carragenina es diferente ($P \leq 0.05$) a los grupos adicionados con enzima y carragenina, en lo que respecta a los parámetros de fractura, dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad. En el parámetro fractura notamos que el grupo con carragenina presenta el valor mas alto (20.0 ± 1.57) seguido del

grupo 3 (18.53 ± 1.57). De igual manera en el caso de la dureza del producto observamos que el grupo con carragenina necesita una mayor fuerza (21.45 ± 1.05) para poderse deformar comparado con el grupo adicionado con MTGasa y carragenina (20.56 ± 1.05) y el grupo sin tratamiento (11.98 ± 1.05) presenta el valor mas bajo, esto nos indica que la enzima y carragenina le confieren una textura más rígida al producto. Sobre la elasticidad del producto se puede observar que los grupos adicionados con MTGasa y carragenina a pesar de ser estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) el grupo con carragenina presenta el valor mas elevado (0.80 ± 0.006), lo que indica que el producto tiene una mejor capacidad de regresar a su condición inicial después de que la fuerza deformante ha sido retirada. En el parámetro cohesividad se puede observar que existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los resultados obtenidos, presentando un resultado superior el grupo adicionado con la enzima y carragenina, esto nos indica que la fuerza de interacción de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto son mayores. Por último, en lo que respecta a la masticabilidad del producto, los resultados nos indican que a pesar de ser iguales ($P \leq 0.05$) los grupos adicionados con la enzima y carragenina, el grupo al cual se agregaron la MTGasa y carragenina requiere una mayor energía para pasar de un alimento sólido a un estado listo para deglutir.

5.2.2.2 Prueba de punción

Los parámetros de la fuerza de ruptura, deformación y fuerza del gel, son mostrados en el Cuadro 26. Los jamones adicionados con MTGasa y carragenina obtuvieron los valores más altos ($P \leq 0.05$) en lo que respecta a la fuerza de gel y fuerza de ruptura. Mientras que la deformación no presentó diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los tres grupos. El parámetro de la fuerza de gel de los jamones sin tratamiento obtuvo los valores más bajos (0.91 ± 0.28) mientras que con la adición de la enzima y el hidrocoloide el parámetro aumento a (2.53 ± 0.28). El parámetro de fuerza de ruptura encontró su valor máximo en las muestras del grupo adicionado con MTGasa y carragenina (2.67 ± 0.24) y su valor mínimo en las muestras del grupo sin tratamiento

(1.15 ± 0.24). Todo esto nos indica que los jamones elaborados y adicionados con la enzima y la carragenina son más rígidos y por lo tanto presentaran una mejor textura.

5.2.3 Análisis sensorial

Los resultados mostrados en la gráfica 1 indican el grado de aceptación de los jamones. Los jamones con MTGasa y carragenina presentaron el mayor porcentaje de aceptación en los parámetros de apariencia general y textura evaluándolos como “me gusta mucho y me gusta moderadamente”. De igual forma podemos observar en la Gráfica 1 que el jamón adicionado con la enzima y carragenina fue el que más gustó al panel de consumidores, seguido del jamón sin tratamiento y finalmente el jamón que disgustó más fue el que solo se adicionó con carragenina. Estos resultados nos aportan una valiosa información, ya que podemos asegurar que el utilizar la enzima MTGasa junto con la carragenina, el producto además de presentar buenas características en lo que respecta a textura y color, también es aceptado por los consumidores en lo que se refiere al sabor del producto, es decir, ambos aditivos no interfieren con las características sensoriales ni físico químicas del producto cárnico.

DISCUSIÓN

6.1 Etapa 1

A continuación se realizará la discusión de los resultados obtenidos en los geles cárnicos de res elaborados, en lo que respecta a pérdida por cocción, CRA, color y parámetros de textura.

6.1.1 Análisis de pérdida por cocción y CRA

La pérdida por cocción y capacidad de retención de agua (CRA), son factores de gran importancia en la elaboración de productos cárnicos. La capacidad de un alimento para retener líquidos estará condicionada con la calidad, cantidad y tipo de proteínas presentes. Un aumento en la pérdida de agua puede ser por una gelificación incorrecta (Whiting, 1988). Los geles incubados a 50°C en todos los tratamientos presentan una CRA mayor a los incubados a 90°C, lo que implica que una baja temperatura es suficiente para provocar una buena gelificación de las proteínas y por lo tanto se obtiene una mejor CRA. Por otro lado la adición de MTGasa no presentó ninguna diferencia estadística ($P \leq 0.05$) en la CRA y pérdida por cocción. Carballo *et al.*, (2006) mencionan que varios autores han reportado que no existe un efecto por la adición de la enzima en la pérdida por cocción. Mientras que Ramírez *et al.*, (2002) reportan que existe una disminución en la CRA cuando se agrega MTGasa durante la reestructuración, lo cual no se presentó en este estudio. Pietrazik & Shand, (2003) mencionan que al aumentar la estabilidad en la gelificación de las proteínas la pérdida de agua disminuye. De esto se deduce que la temperatura de estabilización de las proteínas es 50°C, ya que los grupos sometidos a este tratamiento presentaron una mayor CRA y menor pérdida por cocción, comparados con los tratados a 90°C.

Cuando se adiciona MTGasa durante la elaboración de productos cárnicos bajos en sal, se presenta una disminución en la capacidad de retención de agua de dichos productos (Cofrades *et al.*, 2006). La disminución de cloruro de sodio en la elaboración de productos cárnicos produce una disminución significativa en las propiedades fisicoquímicas de los alimentos

(Tellez-Luis *et al.*, 2002). Mientras que Samejima *et al.*, (1985) mencionan que la pérdida por cocción de los productos cárnicos disminuye cuando la concentración de sal aumenta. La adición de NaCl es la principal causa de variación en la CRA y pérdida por cocción cuando no se adiciona algún otro aditivo. Según Trespacios & Reyes, (2007) mencionan que en los productos a los cuales se les redujo el nivel de adición de sodio, la fuerza de unión entre las proteínas disminuyó, con lo cual la CRA disminuye. Cuando se disminuye la cantidad de adición de sal se disminuyen las propiedades fisicoquímicas en los geles reestructurados de pescado (Tellez-Luis *et al.*, 2002). A pesar de que se utilizó un solo nivel de sal para todos los tratamientos, se presentaron variaciones tanto en la CRA como en la pérdida por cocción por lo tanto podemos concluir que no existe un efecto de la sal sobre el producto; los cambios producidos se deben a los tratamientos empleados, en este caso, la adición de carrageninas y MTGasa, esto se pudo observar en los valores que se disminuyeron notablemente al emplear la carragenina en conjunto con la MTGasa en los geles cárnicos; esto lo podemos comparar con los estudios realizados por Pietrasik & Li-Chan, (2002), ellos mencionan que, el uso de la MTGasa reduce favorablemente la pérdida por cocción. Mientras que Dondero *et al.*, (2006) reportan que conforme incrementa la adición de la MTGasa aumentara la pérdida por cocción, lo cual se explica por el aumento en la fuerza de interacción entre las proteínas excluyendo a las moléculas de agua. Sin embargo los resultados obtenidos muestran que no hay diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre el uso o no de la MTGasa en los valores de pérdida por cocción y CRA en los geles cárnicos de res en el presente estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos mencionar que la temperatura y el tiempo de incubación presentan una diferencia significativa en la CRA y pérdida por cocción en los geles cárnicos de res elaborados. Los geles que no fueron sometidos a un tratamiento térmico, es decir, los geles refrigerados, son diferentes estadísticamente a los tratados con una temperatura ya sea de activación ó cocción, presentando una menor CRA. Ramírez *et al.*, (2002) encontró una disminución sobre la capacidad de

retención de agua en geles de pescado al utilizar la enzima. Por otra parte Pietrasik & Li-Chan, (2002) reportan que el uso de 5 g/kg de MTGasa reduce favorablemente la pérdida por cocción.

Se presentó un aumento en la pérdida por cocción y en la CRA en los geles adicionados con carragenina. La adición de la MTGasa no presentó efectos en ambos parámetros. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Kerry *et al.*, (1999) en donde mencionan que la adición de enzima por si sola, no presenta efectos en la pérdida por cocción. Los cambios más importantes se presentaron al adicionar el hidrocoloide, la carragenina, que tiene la habilidad de formar geles aumentando la retención de agua en el sistema, con lo cual, se mejoran las propiedades mecánicas de los productos elaborados. La adición de carragenina presentó un incremento en la capacidad de retención de agua, disminuyendo significativamente el porcentaje de pérdida de agua después de un periodo de centrifugación, con lo cual se determinó que la carragenina aumenta la CRA de los geles (Pietrazik, 2003), lo cual coincide con los resultados obtenidos, en donde la adición de la carragenina disminuyó el porcentaje de la pérdida por cocción y aumento la CRA de los geles cárnicos de res. Cabe destacar que los dos tipos de carragenina empleados son estadísticamente iguales y ambos presentan un aumento en la CRA y disminución en la pérdida por cocción, por lo que se concluye que su adición mejora las propiedades de textura de los geles cárnicos, siempre y cuando se presenten las condiciones óptimas de incubación, este aumento se presentó por la capacidad que tiene el hidrocoloide de retener agua en el sistema de redes tridimensionales formadas en el gel. Se concluye que con la correcta interacción de la carragenina y MTGasa, podemos disminuir la cantidad de sal empleada en la elaboración de productos cárnicos, lo que nos dará como resultado un producto con buenas propiedades fisicoquímicas y un aumento en la calidad de los mismos.

6.1.2 Análisis de color

Los cambios en la formación del color en los productos cárnicos se deben principalmente a la acción del calor y comienzan su estabilización a

partir de los 65°C. Los cambios producidos por la cocción de los alimentos se presentan principalmente en la textura, color y sabor de los mismos (Brunton *et al.*, 2006).

En lo que respecta a la evaluación del color en los geles cárnicos elaborados, se presentaron diferencias en los parámetros por las condiciones de incubación y por efecto de la carragenina, sin embargo estos resultados no fueron significativos en el caso de los geles tratados con MTGasa, es decir, la enzima no presenta modificaciones en los atributos de color de los alimentos a los cuales se les adiciona, esto se pudo comprobar al evaluar de manera independiente el efecto de la MTGasa. Serrano *et al.*, (2004) reportaron que la variabilidad en los atributos del color que presentó la carne fresca reestructurada de res fue atribuida principalmente por el efecto de la refrigeración y almacenamiento. Pietrazik, (2003) no observó ninguna influencia en los parámetros del color por efecto de la adición de MTGasa. Tseng *et al.*, (2000) mencionan que el uso de la enzima no presenta ningún efecto negativo sobre el color, al utilizar niveles bajos de adición de sal en carne de pollo. Li-Chan, (2002) nos dice que la adición de MTGasa no presenta ninguna influencia en los parámetros de color.

Cabe mencionar que los grupos sometidos a un tratamiento térmico son estadísticamente iguales en el color sin importar si se les adicionó la MTGasa o no, comparados con los grupos que solamente fueron refrigerados. La variación del valor de hue de los geles cárnicos se da por el aumento en la temperatura de incubación de los geles. Boles & Shand, (1999) mencionan que el almacenamiento en refrigeración provoca los mayores cambios en el color, aunque esta variación fue atribuida principalmente a los métodos de almacenamiento utilizados. En este estudio, la refrigeración de los geles cárnicos mostró cambios significativos en los atributos del color, comparado con los geles sometidos a un tratamiento térmico. Los análisis estadísticos en los atributos de color de los geles cárnicos, indicaron que sí existen cambios importantes por efecto de los diferentes tratamientos aplicados.

Por otro lado al utilizar una baja cantidad de sal en todos los tratamientos y adicionar la enzima, se disminuye la variación del color entre los

geles cárnicos. Dimitrakopoulou *et al.*, (2005) reportan que los niveles en la adición de NaCl afectan significativamente el color en la reestructuración de carne de cerdo. Esto nos indica nuevamente que los productos cárnicos elaborados con una mínima concentración de sal, no serán afectados o modificados en lo que respecta a un cambio en el color.

Pietrazik, (2003), reportó que la adición de la carragenina por si sola presentó cambios en los atributos de color en los geles de res, en donde se presentó una disminución en la luminosidad (L^*) y b^* y un aumento en los valores de a^* , obteniendo geles más oscuros y con tonalidades marrón. De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que al adicionar carragenina a los geles cárnicos los parámetros de color se modifican en comparación con los geles sin el hidrocoloide, aún sin la presencia de la enzima.

Los cambios presentados en los atributos de color están principalmente influenciados por la pigmentación que sufre la carne por efecto de la cocción. Los cambios en la pigmentación se presentan con cierta regularidad en todos los tratamientos, con lo cual no se puede atribuir los cambios a los aditivos utilizados, sino a los cambios que sufre la carne durante la cocción (Pietrazik, 2003).

6.1.3 Análisis de textura

La investigación de la reestructuración con el uso de la enzima se hizo inicialmente en frío y ha sido ampliamente estudiado. De igual forma se sabe que para la reestructuración de alimentos crudos durante la refrigeración es fundamental el uso de altas cantidades de sal (Jiménez *et al.*, 2005). Westort & Hultin (1996), demostraron que el uso de sal permite la liberación del contenido de las células musculares, permitiendo la ruptura del sarcolema y por lo tanto la liberación de las proteínas miofibrilares. Kuraishi *et al.* (1997), mencionan que el uso de sal promueve la extracción de las proteínas miofibrilares de la carne de cerdo, con lo cual libera el sustrato para la reacción de la unión entre las proteínas el cual puede ser catalizado por la MTGasa. El uso de la enzima en productos tratados térmicamente reduce los niveles de necesidad de adición de sal en la reestructuración de alimentos (Ramírez *et al.*, 2000b). Por otra parte,

Carballo *et al.*, (2006) mencionaron que la MTGasa puede ser utilizada en el proceso de reestructuración de productos cárnicos crudos refrigerados sin la adición de sal, aunque se necesitan largos periodos de tiempo para obtener resultados. Aunque Uresti *et al.* (2004) no recomiendan la reestructuración sin la adición de sal en pescado. De acuerdo a todo esto se decidió adicionar 1% de sal a los geles y observar el comportamiento de los mismos, se determinó que la enzima se comporta de la misma manera con o sin la presencia de la sal.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la adición del 0.3% de MTGasa y 1% de carragenina representan una alternativa interesante en la elaboración de productos cárnicos de res, esto se debe al aumento obtenido en las propiedades mecánicas en los geles cárnicos de res, lo cual se atribuye a que la MTGasa promueve la unión entre las proteínas, formando redes tridimensionales entre ellas (Ramírez *et al.*, 2007), podemos decir que el aumento en las propiedades de textura se presentó en el grupo adicionado con la enzima comparado con los grupos a los que no se les agregó. La adición de MTGasa aumenta las propiedades mecánicas de textura de los geles cárnicos, ya que al adicionarla los parámetros de textura aumentaron significativamente. Los geles con la adición de 0.3% de MTGasa presentaron los valores más altos de textura. Dondero *et al.*, (2006) utilizaron diferentes niveles de adición de MTGasa, con un mínimo de 0.1% y un máximo de 3.0%, encontrando los mejores resultados de textura con la adición al 0.5% de MTGasa. Mientras, Serrano *et al.*, (2004) utilizaron una concentración al 0.7% de enzima encontrando buenos resultados en la reestructuración de carne de res fresca con la adición de nueces.

De la misma manera, la falta de un tratamiento térmico, en el caso de los geles refrigerados, provoca una baja intensidad en la desnaturalización de las proteínas, lo que no permite a la enzima obtener el sustrato suficiente para catalizar las reacciones de unión entre proteínas (Uresti *et al.*, 2006). La desnaturalización de las proteínas se da por diversas causas, aunque la principal en la elaboración de productos cárnicos cocidos es por efecto del calor. Dicha desnaturalización de las proteínas cárnicas se presentó

parcialmente en los geles cárnicos refrigerados, ya que estos no fueron incubados. Boyer *et al.*, (1996) sugieren que el mecanismo de unión o agregación de las proteínas miofibrilares por efecto del calor esta influenciado por la fuerza iónica de las proteínas, el tipo, cantidad, calidad y propiedades de las proteínas (solubilidad, pH y temperatura de desnaturalización) las cuales afectan directamente a la formación del fenómeno de gelificación (Lantto *et al.*, 2005). Cofrades *et al.*, (2006) mencionan que la diferencia existente entre la gelificación de las proteínas con la adición de la MTGasa esta relacionada a la temperatura y tiempo de reacción, tipo de carne, presencia de algún otro aditivo y calidad de la proteína. Un requisito para que la enzima catalice el enlace de unión entre las proteínas es la suficiente exposición de lisina y glutamina, las cuales son utilizadas como el principal sustrato por la MTGasa (Jong & Koppelman, 2002). El aumento en los valores de fracturabilidad y dureza mostraron que la MTGasa incrementa los enlaces entre las proteínas, aumentando las propiedades mecánicas de los geles (Uresti *et al.*, 2003b). Este aumento que presentaron los geles cárnicos con la adición de 0.3% de la enzima por efecto de las condiciones de temperatura de incubación corresponde al efecto del calor en el arreglo espacial de la cadena de polipéptidos, de un estado nativo a uno desnaturalizado. Aunado al uso de la MTGasa en condiciones favorables, se aumentan los parámetros mecánicos de los alimentos, como lo reportan Kuraishi *et al.*, (2001), quienes encuentran un mejoramiento en las propiedades físicas de los alimentos, como elasticidad y firmeza cuando la enzima promueve la unión proteica, ya que la reacción dominante de este enzima, es la de catalizar el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular en presencia de aminas primarias, es decir, la enzima puede unir las aminas de las proteínas. Sin embargo los grupos refrigerados adicionados con MTGasa registraron niveles bajos de TPA y punción en comparación con los geles incubados a diferentes temperaturas con la adición de la enzima.

Los geles cárnicos incubados a 50°C durante 30 minutos con la adición de 0.3% de la enzima y 1% de carragenina presentaron los valores más altos en los parámetros de TPA. La temperatura de incubación permite el aumento

en las propiedades de textura, esto por el aumento en la disposición de los grupos funcionales de las proteínas cárnicas (Cofrades *et al.*, 2006). La completa unión de las proteínas de la carne y la completa actividad de la enzima están dadas fundamentalmente por la completa desnaturalización y exposición de los sitios activos de las proteínas (Ramírez *et al.*, 2000a). Sin embargo al aumentar la temperatura a 90°C, las propiedades mecánicas de los geles disminuyeron significativamente sus valores, esto se debe a que el aumento de la temperatura afecta la desnaturalización de las proteínas, iniciando una posible agregación entre la misma proteína, comenzando el proceso de precipitación y por consiguiente se disminuyen los sitios activos de las proteínas (Morales *et al.*, 2001). Según Nielsen, (1995) las altas temperaturas de desnaturalización de las proteínas no permiten un buen cambio estructural, limitando la interacción entre proteínas (O'Kennedy, 2000).

Las modificaciones en las propiedades térmicas producen variaciones en la organización molecular de las propiedades físicas de las proteínas (Cuq *et al.*, 1997). El principal factor modificado por influencia del calor es la desnaturalización de las proteínas, el cual es el factor inicial para el proceso molecular de la unión, agregación y gelificación de las proteínas (Aktas & Kilic, 2005). El mecanismo de gelificación de las proteínas básicamente comprende; solubilización, desnaturalización y unión o agregación de las proteínas. La agregación entre las proteínas es el resultado de la formación de dímeros, trímeros y de polimerización entre las proteínas (Jong & Koppelman, 2002). Los resultados indican que tanto las condiciones de incubación como la concentración de MTGasa modificaron las propiedades mecánicas de los GCR.

Los valores presentados por los grupos refrigerados en las propiedades de textura se pueden explicar por la falta de la desnaturalización de las proteínas cárnicas de res obtenidas por un tratamiento de térmico. Jimenez *et al.*, (2005) mencionan que en los casos en donde la desnaturalización de las proteínas se presenta en niveles bajos o insuficientes, la enzima no tiene sustrato para realizar su catálisis, con lo cual, el aumento en las propiedades mecánicas de los productos cocidos no presentará los beneficios previamente reportados. La falta de incubación no permite la completa exposición del

sustrato para que la enzima catalice la unión entre las proteínas (Uresti *et al.*, 2006). Jong & Koppelman, (2002) mencionan, para que la MTGasa catalice la unión entre las proteínas es necesaria la exposición de Lisina y Glutamina. La lisina es el mejor sustrato para la MTGasa porque tiene un grupo ϵ -amino en su amina primaria (Jong & Koppelman, 2002). La lisina contiene péptidos los cuales actúan como acyl aceptores y en ocasiones se presentan como acyl donadores (Jong & Koppelman, 2002). La MTGasa tiene la capacidad de unir aminoácidos o péptidos covalentes con las proteínas. Por todo esto se puede concluir que al no presentarse las condiciones de temperatura ideales para la desnaturalización de las proteínas cárnicas de res no se presentaron cambios en ninguno de los grupos refrigerados, sin embargo la adición de la MTGasa catalizó y promovió la unión entre las proteínas solubilizadas por efecto de la adición de sal, por lo cual se aumentaron las propiedades mecánicas en los grupos refrigerados adicionados con la enzima comparándolos con los refrigerados sin la adición de la MTGasa sobre los parámetros de textura de los geles cárnicos. Ramírez *et al.*, (2003) asociaron el aumento en las propiedades mecánicas del surimi directamente con la solubilización, temperatura y velocidad de desnaturalización de las proteínas cárnicas, así como con el efecto de la actividad de la enzima.

El aumento en las propiedades mecánicas de los geles incubados a 50°C concuerda con las condiciones de temperatura para la desnaturalización de las proteínas cárnicas. La actina y miosina (proteínas miofibrilares) son las principales proteínas de la carne y constituyen el 55% del contenido total en la carne (Tornberg, 2005). Generalmente esta estructura esta estabilizada por puentes de hidrógeno (Dickerson & Geis, 1969). Bendall & Restall, (1983) reportaron que la temperatura de desnaturalización de la miosina es entre 40 a 60°C. Mientras que para Samejima *et al.*, (1985) se disminuye el rango a 55°C. Wrigth *et al.*, (1997) mencionan que la miosina se desnaturaliza a una temperatura de 49.5°C. La actina es la proteína con mayor estabilidad al calor, y se desnaturaliza en un rango de 70 – 83°C (Barbut & Findlay, 1991). El tiempo de exposición de las proteínas a un tratamiento térmico influye directamente con las condiciones de desnaturalización de la proteína. La

incubación de los geles cárnicos a 50°C durante 30 minutos, con la adición de 0.3% de MTGasa y 1% de carragenina representó la condición óptima para la gelificación de las proteínas. Sin embargo al aumentar el tiempo de incubación los parámetros de textura comienzan a disminuir, esto se debe a un posible inicio en la precipitación de las proteínas cárnicas debido al aumento de las condiciones de incubación.

El tiempo de exposición al calor influirá directamente sobre el estado de las proteínas. La gelificación de las proteínas puede presentar varios fenómenos de acuerdo a la temperatura a la cual se induzca. Sakamoto *et al.*, (1995) reportaron que al aumentar los tiempos de incubación en la elaboración del surimi los valores de las propiedades mecánicas disminuyen. Cabe destacar que el tratamiento térmico es fundamental en el proceso del arreglo espacial del polipéptido cuando pasa de su estado nativo a un estado desnaturalizado. El método y duración de los tratamientos térmicos, modifica gradualmente el nivel y ordenamiento de los sitios activos en la desnaturalización de las proteínas (King & Harris, 1982). La unión entre las proteínas adyacentes aumenta cuando se dan las condiciones óptimas de temperatura (Ramírez-Suárez & Xiong, 2003), estas condiciones son modificadas con las condiciones de tiempo y temperaturas de incubación. El aumento de las propiedades mecánicas de los geles por efecto del tratamiento térmico y la adición de la MTGasa observado en este estudio, se debe a que la temperatura empleada desnaturalizó las proteínas cárnicas durante el tratamiento, provocando la exposición de los sitios activos los cuales actuaron como sustrato para la enzima. Según Xiong & Brekke, (1990) la asociación entre proteínas comienza en un rango de 36-40°C. Sharp & Offer, (1992) estudiaron el mecanismo de la gelificación de la miosina, ellos reportan que después de calentar a 30°C durante 30 minutos aparentemente la molécula de miosina no presenta cambios. Después de calentar a 35°C la presencia de moléculas de miosina en su forma nativa continuaba dominando, aunque se comenzaban a presentar otros tipos de estructuras con la unión de diferentes proteínas.

Los parámetros de punción también se vieron aumentados por efecto de la incubación, encontrando su valor máximo en los geles incubados a 50°C durante 30 minutos. Ramírez *et al.*, (2000b) dicen que, la máxima actividad de la MTGasa y por lo tanto su funcionamiento óptimo como catalizador, se basa principalmente en la correlación entre la concentración, tiempo y temperatura de incubación de la enzima. En el presente estudio al incubar los geles a 50°C se promueve la desnaturalización de las proteínas cárnicas y de la misma forma podemos decir que es la temperatura óptima para la actividad de la MTGasa. Según Anon, (1998) la temperatura óptima para la máxima actividad de la MTGasa es a 50°C y Ramírez *et al.*, (2000) mencionan que la máxima actividad de la MTGasa se presenta a una temperatura cercana a los 55 °C.

Por otra parte, al aumentar de 50 a 90°C la temperatura de incubación durante 30 minutos disminuyeron los valores de los parámetros de punción, esto se puede explicar por el aumento en la temperatura de incubación. La temperatura de incubación modifica las características y proporción de la desnaturalización de las proteínas y la actividad óptima de la MTGasa. Según Nielsen, (1995) las altas temperaturas de desnaturalización de las proteínas no permiten un buen cambio estructural en la proteína, con lo cual cambian la exposición de los sitios activos. La temperatura de desnaturalización modificara directamente el fenómeno de gelificación de las proteínas (Lantto *et al.*, 2005).

La semejanza de las tendencias presentadas en los parámetros de la prueba de punción con los parámetros del TPA, está relacionada definitivamente con las condiciones de temperatura y la adición de la MTGasa y carragenina. La completa exposición de la lisina y glutamina como sustrato, ayudan a la formación de las redes tridimensionales por medio de las uniones entre las proteínas adyacentes catalizadas por la MTGasa y esto nos provocó un incremento de los valores de la fuerza del gel y de cualquier otro valor de textura (Jong & Koppelman, 2002). La desnaturalización de las proteínas por efecto de la temperatura se da en el momento en el que se rompen las estructuras secundarias y terciarias, con la consecuente desnaturalización y agregación de las proteínas.

El tiempo y temperatura insuficientes para una correcta desnaturalización de las proteínas, repercuten directamente en la formación de los geles (Dickinson, 1997). El aumento en las propiedades mecánicas de los geles incubados con la adición de la enzima esta asociado según Ramírez *et al.*, (2003) directamente con la velocidad de solubilización y la temperatura de desnaturalización de las proteínas cárnicas. La desnaturalización de las proteínas se refiere al cambio ordenado a desordenado de las proteínas, presentando un desdoblamiento y la consecuente exposición de sus grupos funcionales y el ordenamiento de estos dependerá de la intensidad y tratamiento utilizado. Los geles cárnicos fueron incubados a 50°C para promover la correcta desnaturalización de las proteínas cárnicas de res. Aunado a la importancia que presenta el tiempo de exposición de las proteínas al calor en la desnaturalización de las proteínas, pero si se mantiene en la temperatura óptima para su desnaturalización, la agregación entre la misma proteína y por lo tanto la precipitación no se presentará.

Los parámetros de la prueba de punción fueron modificados por efecto de la incubación aún cuando no se adicionó MTGasa en los geles cárnicos, sin embargo presentan valores más bajos que los adicionados con la enzima. Al no existir ningún otro aditivo que promoviera la gelificación de las proteínas a excepción de la sal, el cual fue adicionado en ambos casos al 1%, el principal factor para la formación de los geles fue por efecto de la temperatura de activación (50 °C durante 30 min). El método y procedimiento de cocción es un factor fundamental en las características y calidad del producto (Drummond & Sun, 2006). La formación de los geles cárnicos por efecto de un tratamiento térmico se lleva a cabo con o sin la adición de algún aditivo. Las proteínas miofibrilares son el principal componente de la carne y el principal responsable de la formación de la matriz de gel en la cocción de la carne (Siegel *et al.*, 1979). El efecto de las propiedades de textura de la carne se da por el resultado del proceso de cocción y el efecto de ésta en las proteínas miofibrilares, sarcoplásmicas y tejidos conectivos (Lawrie, 1998). Durante el tratamiento térmico, los diferentes componentes de la carne sufren una serie de cambios estructurales, como la destrucción de la membrana celular,

acortamiento de las fibras musculares, agregación y la gelificación de las proteínas cárnicas y del tejido conectivo. Aunque el total de los cambios estructurales se presentan a partir de los 80°C (Tornberg, 2005). Mientras que Doerscher *et al.*, (2003) reportaron que a 85°C se induce la completa desnaturalización y agregación de las proteínas en geles de porcino. La adición de ingredientes no cárnicos modifica la interacción entre proteínas modificando las propiedades mecánicas de los geles cárnicos (Doerscher *et al.*, 2003).

Las propiedades mecánicas de productos reestructurados de pescado están asociadas directamente con las condiciones de desnaturalización de las proteínas (Ramírez *et al.*, 2007). Muguruma *et al.*, (2003), reportan que con el uso de la enzima y la aplicación de un tratamiento térmico en embutidos de pollo obtuvo mejores resultados que su respectivo control. Por lo tanto, una disminución en la apertura de la estructura de las proteínas disminuye la exposición de sus sitios activos, con lo cual, se impide la unión entre las proteínas Damodaran & Parraf, (1997). Los cambios en la estabilidad térmica de las proteínas promueven la unión entre estas (Findlay *et al.*, 1989).

El aumento de la temperatura de incubación disminuyó los valores de la fuerza de gel en los geles cárnicos elaborados. Aktas & Kilic, (2005) mencionaron que los cambios en las condiciones durante la desnaturalización de las proteínas con la adición de ingredientes no cárnicos, modifican la interacción de unión entre las proteínas y el ingrediente no cárnico. El aumento en la temperatura de incubación promueve la modificación de las características de desnaturalización de las proteínas, con lo cual se modifican las propiedades de unión entre las proteínas.

En el parámetro de fuerza de corte, se presentó un aumento estadísticamente significativo en el grupo de los geles cárnicos refrigerados con la adición de 1% de carragenina sin MTGasa, esto se debe a que los hidrocoloides pueden interaccionar con las proteínas de la carne, ocupando los espacios intersticiales presentes en la matriz de gel (Lanier, 1991). De la misma manera la enzima necesita ciertas condiciones para llevar a cabo su función como catalizador. En la elaboración de productos cárnicos cocidos es necesario proporcionar el sustrato para que la enzima catalice la unión entre

las proteínas, para lo cual es necesario la desnaturalización de las proteínas cárnicas por efecto del calor. El proceso térmico, incluyendo el método y la duración, cambia gradualmente el nivel y ordenamiento de los sitios activos en la desnaturalización de las proteínas (King & Harris, 1982). El correcto funcionamiento de la actividad de la MTGasa se basa en la correlación de diferentes variables como: concentración enzimática, tiempo y temperaturas de incubación (Ramírez *et al.*, 2000b). La formación de redes tridimensionales entre las proteínas aumenta con la incubación en condiciones óptimas de temperatura (Ramírez-Suarez & Xiong, 2003). Según Kim *et al.*, (1993) la ausencia del fenómeno del setting en la carne de res y prácticamente en la carne de todos los mamíferos, produce una débil unión entre las proteínas sin la utilización o sin las condiciones necesarias para que la enzima desarrolle su función.

La carragenina es ampliamente utilizada en la producción de alimentos cárnicos por su habilidad para retener agua en el sistema de la formación de la matriz de gel, proporcionando un aumento y mejora en las características de textura de los productos cárnicos, aunado al aumento en la rentabilidad de la producción (Trius & Sebranek, 1996). Al analizar la variable carragenina en este estudio, observamos que el grupo de los geles cárnicos sin carragenina presentó un valor más bajo en comparación con los adicionados con el hidrocoloide, en lo que respecta a los parámetros de punción. La interacción formada entre las proteínas de diferentes alimentos y la carragenina a sido ampliamente estudiada; por ejemplo Drohan *et al.*, (1997) estudiaron el efecto de la carragenina en la agregación y gelificación de las proteínas de la leche. Baeza *et al.*, 2002, estudiaron la interacción de la carragenina con las proteínas del suero de leche, aunado el efecto sinérgico de la carragenina con la proteína de soya aumentando la viscosidad (Baeza *et al.*, 2002). Xion *et al.*, (1999) reportaron un aumento en la dureza en las muestras de embutido de res con la adición de 50 g/kg de carragenina. DeFreitas *et al.*, (1997), reporto que la carragenina aumenta la fuerza de gel, concluyendo que la interacción entre proteína/carragenina si se presenta.

Los resultados de las pruebas mecánicas del presente estudio muestran que hay un efecto significativo por la interacción en la adición de la MTGasa y la carragenina en los parámetros de textura de los geles cárnicos de res. La enzima por si sola aumenta las propiedades mecánicas de alimentos que contengan proteínas (Uresti *et al.*, 2004). Esta enzima tiene la capacidad de unir proteínas de alimentos por medio de enlaces covalentes (Sakamoto *et al.*, 1995; Motoki & Seguro, 1998). La reacción dominante de esta enzima, es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular (Kuraishi *et al.*, 2001). Mientras que la función principal de la carragenina es retener agua en el sistema cuando se utiliza en la gelificación cárnica. La carragenina por si sola aumenta la dureza y fracturabilidad, pero disminuyó los valores de los parámetros de elasticidad y cohesividad. Aunque el mayor efecto fue encontrado con la interacción de las tres variables estudiadas en el presente trabajo. En donde la interacción de ambos aditivos presentó aumentos en los parámetros de textura, sin embargo, con las condiciones óptimas de incubación en tiempo y temperatura, se pueden disminuir las cantidades necesarias de adición de MTGasa. Lo anterior fue demostrado en los geles del grupo adicionado con ambos aditivos y un óptimo periodo de incubación, este grupo obtuvo los mejores valores en las propiedades mecánicas. La fuerza de gel y fuerza de ruptura aumentaron significativamente con el aumento progresivo en la adición de la carragenina.

Con todo lo mencionado anteriormente podemos concluir que la adición de 0.3% de MTGasa y 1% de carragenina y una incubación de 50°C durante 30 minutos, van a incrementar significativamente ($P \leq 0.05$) las propiedades mecánicas de los geles cárnicos de res. Con lo cual se obtienen las condiciones óptimas de incubación para la gelificación de las proteínas miofibrilares catalizadas por la MTGasa, aumentando las uniones covalentes entre las proteínas cárnicas de res.

6.2 Etapa 2

En la actualidad los productos cárnicos reestructurados representan una opción para la industria cárnica. Los productos cárnicos reestructurados

surgieron por la necesidad de utilizar cortes de carne ó recortes que por sus características no son utilizados para la elaboración de productos cárnicos de alta calidad y valor comercial, disminuir la cantidad de grasa, adicionar ingredientes funcionales etc. Durante su elaboración ha sido necesario adicionar diferentes ingredientes para solubilizar las proteínas, como la sal (Urestie *et al.*, 2003a), ligantes de agua como la carragenina (Pietrazik, 2003) y catalizadores de la unión entre las proteínas como la MTGasa (Ramírez *et al.*, 2007) entre otros. Actualmente la MTGasa ha sido estudiada en la elaboración de un gran número de productos alimenticios reestructurados, como en la elaboración de salchichas (Jimenez *et al.*, 2005), productos reestructurados de pescado (Uresti *et al.*, 2003), de carne de pollo (Kilic, 2003), embutidos de pollo (Muguruma *et al.*, 2003), surimi (Ramírez *et al.*, 2003), albóndigas de carne de pollo (Tsai-Fuh *et al.*, 2002) entre muchos otros. Sin embargo existen muchas diferencias en las condiciones de adición y activación de la enzima. Algunos de los diferentes estudios han reportado las condiciones óptimas de elaboración de diferentes productos cárnicos reestructurados con la adición de MTGasa. Las condiciones óptimas para la reestructuración de la carne de cerdo (pork shoulder) es a 72 °C durante 65 minutos según Dimitrakopoulou *et al.* (2005). En productos de pescado es a 40 °C durante 60 minutos (Ramírez *et al.*, 2002). Y la reestructuración de pollo es a 40 °C durante 30 minutos a 500MPa (Trespacios & Reyes, 2007), por lo que los resultados presentados en esta investigación, permitieron obtener las condiciones óptimas para la elaboración de productos cárnicos reestructurados de res con la adición de MTGasa y carragenina.

El tipo jamón reestructurado de res sin la adición de MTGasa y Carragenina presentó los valores más bajos de fracturabilidad, dureza y masticabilidad, esto coincide con los resultados obtenidos en los geles cárnicos de la presente investigación y con lo reportado por Ramírez *et al.*, (2007), en donde explica el aumento en las propiedades mecánicas por la simple adición de la enzima la cual promueve la unión entre las proteínas, formando redes tridimensionales entre estas. La baja intensidad de unión entre las proteínas y por lo tanto, la disminución en las propiedades mecánicas de los productos

cárnicos elaborados sin MTGasa se explica con lo reportado por Kim *et al.*, (1993) en donde mencionan que la ausencia del fenómeno del setting en la carne de res y prácticamente de todos los mamíferos, produce una débil unión entre las proteínas sin la utilización de la enzima.

La adición de la MTGasa aumenta la unión de interacción de las proteínas por medio de la reacción de transferencia de acyl entre proteínas, en la cual los residuos glutámicos actúan como donadores de grupos γ -carboxiamida y el grupo ϵ - de los residuos de lisina como receptor (Jong & Koppelman, 2002), con lo cual aumentan las propiedades mecánicas de los alimentos elaborados. Las ventajas proporcionadas por la adición de MTGasa en la reestructuración cárnica son amplias, sin embargo la utilización de esta es de alto costo y además, baja la CRA, por lo cual se adicionó junto con la carragenina. La carragenina es ampliamente utilizada en la industria de los alimentos (Galazka *et al.*, 2000), es utilizada como estabilizante, espesante o gelificante (Dickinson & Pawlowsky, 1997). Utilizar carragenina sola o en combinación con algún otro ingrediente es una práctica muy común en la elaboración de productos cárnicos (Chin *et al.*, 1996). La carragenina presenta una propiedad particular la cual consiste en formar geles térmicamente reversibles (Pietrazik, 2003), por lo tanto tiene la capacidad de formar geles en condiciones de cocción y en refrigeración (Trius & Sebranek, 1996). Su principal función es la de retener agua dentro del gel formado. Al utilizar ambos aditivos se aumentaron las características funcionales de los productos reestructurados elaborados. En donde la carragenina aumento las propiedades de retención de agua y por consiguiente se disminuyeron los porcentajes de pérdida por cocción y la pérdida de agua tras la centrifugación. La MTGasa aumentó las propiedades mecánicas del producto elaborado reestructurado de res, asociado a la posibilidad de disminuir la cantidad de MTGasa por la interacción de ambos aditivos en condiciones óptimas de incubación previas a la cocción. Los aditivos utilizados presentaron un efecto significativo en los atributos de color, los cuales se indicaron anteriormente.

El tipo jamón reestructurado de res adicionado con MTGasa y carragenina presentó la mayor aceptación por los jueces en los parámetros de

aparición general y textura. Los procesos mecánicos de limpieza y ruptura de la carne disminuyen el efecto producido por las características de textura de las piezas de bajo valor económico y con el aumento en las propiedades mecánicas y funcionales por efecto de ambos aditivos se obtienen alimentos de calidad.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la adición de 0.3% de MTGasa incrementa significativamente ($P \leq 0.05$) las propiedades mecánicas de los geles cárnicos reestructurados de res. Al incubar los geles cárnicos a 50 °C durante 30 minutos con la adición de la enzima, aumentaron significativamente las propiedades mecánicas de los mismos, con lo cual se obtuvieron las condiciones óptimas de incubación para la gelificación de las proteínas miofibrilares catalizadas por la MTGasa, aumentando las uniones covalente entre las proteínas cárnicas de res, presentando mínimos cambios en los atributos de color y en los parámetros de pérdida por cocción y capacidad de retención de agua. Los resultados obtenidos muestran que la MTGasa presenta su mayor actividad cuando se incuba a 50 °C durante 30 min. La refrigeración después de la incubación modificó las propiedades mecánicas de los geles cuando la desnaturalización de las proteínas por medio del calor fue baja.

Por otra parte, la adición por si sola de la MTGasa mejoró las propiedades de textura de los geles cárnicos, siempre y cuando se presenten las condiciones óptimas de incubación, sin presentar cambios importantes en la CRA, pérdida por cocción y atributos de color, sin embargo al adicionar carragenina se presentó un aumento en las propiedades mecánicas de los geles. Este aumento se debe a la capacidad de retener agua en el sistema de redes tridimensionales formadas en el gel, con lo cual se pudieron obtener aumentos en las propiedades fisicoquímicas de los geles cárnicos con la correcta interacción de la carragenina y MTGasa, obteniendo mejorías en las propiedades mecánicas y en las propiedades funcionales de los geles, aumentando la calidad de los productos cárnicos elaborados y disminuyendo la cantidad de enzima necesaria.

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que es posible elaborar productos cárnicos reestructurados de res de calidad, utilizando cortes de bajo valor económico y comercial con la adición de MTGasa y carragenina en una baja cantidad. Las condiciones óptimas de

incubación y la adición de carragenina permiten reducir la cantidad mínima necesaria de adición de MTGasa obteniendo resultados óptimos durante la elaboración de productos cárnicos de res, en este caso un tipo jamón.

El conocimiento obtenido de este estudio es de gran importancia para la elaboración de productos cárnicos cocidos de res, sin embargo es necesaria la investigación de la interacción de estas condiciones de incubación con otras variables, como la disminución de la cantidad utilizada de MTGasa en la reestructuración cárnica de res o en alguna otra alternativa de incubación, como la incubación a bajas temperaturas. Por lo cual se sugiere continuar con los estudios con respecto al tema.

REFERENCIAS

- Hie-joon K., Hyo S. Investigación of transglutaminase-induced peptide cross-linking. Bull Korean Chem. Soc. 1999, Vol. 20, No. 11.
- Téllez L., Ramírez J.A., and Vázquez M. Application in restructured fish products of transglutaminase obtained by streptococcus lactis in media made from hydrolysates of sorghum straw. Food Microbiology and Safety. 2004. Vol. 69
- Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México 2006. SECOFI, BANXICO, SAGARPA, 2006.
- Domínguez Z.C. La agroindustria de la carne (tesis de licenciatura). México D.F.: Universidad Autónoma de Chapingo, 2005.
- Dirección de estudios económicos. Consumos nacionales aparentes de productos pecuarios. México: SECOFI, BANXICO, SAGARPA, 2006.
- Fomento para el consumo de carne en México (FOMECARNE) (serial online). Abril 2006. <http://www.fomecarne.com.mx>
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Programa nacional pecuario. México DF: Coordinación general de ganadería, 2005.
- Consumos nacionales aparentes de productos pecuarios. Dirección de estudios económicos con datos de SECOFI, BANXICO, SAGARPA, 2005.
- Stanley N. Production and utilization of products from commercial seaweed, FAO, 2005.
- Goldberg M. Biotechnology and food ingredients. EUA: VNR, 1991.
- Reichert J.E. Ciencia y tecnología de los alimentos. Zaragoza: ed. Acribia, 2000.
- Horst-Dieter T. Fundamentos de tecnología de los alimentos. Zaragoza : ed. Acribia, 2001
- Prandl O., Fischer A., Hands-Jurgen T. Tecnología e higiene de la carne. Zaragoza: ed. Acribia, 1999.
- Casp A., Requena J. Procesos de conservación de alimentos. 2a ed. Madrid: ed. Mundi-Prensa, 2003

- Price J.F., Schweigert B.S. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos 2ª ed. Zaragoza: ed. Acribia. 2001.
- Urbain W.M. Campbell J.F. La conservación de la carne. Zaragoza: ed. Acribia, 1999.
- Wong P.C. Química de los alimentos: mecanismos y teorías. Zaragoza: ed. Acribia, 1994.
- Venegas F. Clasificación de productos cárnicos. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Revista Cubana Alim. Nutri.; 1999; 13(1):63-7
- 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-009-Z00-1994, Proceso sanitario de la carne.
- Alan H., Jane P. Carne y productos cárnicos. Zaragoza: ed. Acribia, 1995.
- Marquez E., Arevalo E., Barboza Y. Efecto de la concentración de transglutaminasa y tiempo de reacción en la estabilidad de productos reestructurados. Dic. 2006, vol.16, no.6, p.662-667.
- Potter N., Hotchkiss J. Ciencia de los alimentos. Zaragoza: ed. Acribia, 1999
- Gracey J.E. Higiene de la carne 8ª edición; Edit. Interamericana McGraw Hill, Madrid España 1989.
- Judge, M.D., Aberle, E.D., Forrest, J.C., Hedrick, H.B. y Merkel, R.A. Principles of meat science. Kendall-Hunt Publishing, cp. Dubuque, Iowa. 1988.
- Libby J.A. Higiene de la carne, Edit. Continental, México 1981
- Farinas E T, T Bulter, and F H Arnold. Directed enzyme evolution. Curr. Opin. Biotechnol. 2001; 12:545-551.
- Velazco. Proceso de reconstitución de la carne. Parte II – Productos reestructurados sin tratamiento térmico – Carnetec. 34-43, Enero/Febrero 1999.

- Lauber S., Henle T., Klostermeyer H. Relationship between the crosslinking of caseins by transglutaminase and the gel strength of yoghurt. *Europe Food Res Technology*. 2000;10:305–309.
- Payne. Transglutaminasa, una innovación tecnológica. *Carnetec*. 26-29, Marzo/Abril 2000.
- Sakamoto y Kuraishi. Production of Reestructured Meat using Microbial Transglutaminase without Salt or Cooking - *Journal of food science* – volumen 62. N°3, 488-491, 1997.
- Zhu Y., Rinzmena A., Tramper J., Bol J. Medium design based on stoichiometric analysis of microbial transglutaminasa production by *Streptomyces mobarensis*. *Biotechnol Bioeng*, 1995. Vol.50;291-8
- Motoki, S. Transglutaminase and its use for food processing – *Trends in Food Science & Technology* 9, 204-210, 1998.
- Piestrasiak, Z. Duda, Z. Effect of fat content and soy protein/carrageenan mix on quality characteristics of comminuted, scalded sausage. *Meat Science*. 56 (2000) 181- 188
- Truis A., Sebranek J.G. Carrageenans and their use in meat products. *Food. Science and Nutrition*, 1996: 68-85.
- Paula H., John F. The influence of added whey protein/carrageenan and tapioca starch on the textural properties of low fat pork sausage. *Meat Science*. 1999. Vol. 51;43-52.
- Mossel & Moreno García. *Microbiología de los alimentos*; Edit. Acribia, Zaragoza España, 1982
- Adams M.R. & M.O. Moss. *Microbiología de los alimentos*; Edit. Acribia, Zaragoza España, 1997
- Atlas R.M, Bartha R. *Ecología Microbiana y Microbiología ambiental* 4ª edición; Edit. Addison Wesley, Madrid España, 2002
- Civille G.V. and Szczesniak, A.S. 1973. Guidelines to training a texture profile panel. *J. Texture Studies* 4, 204-223
- Hongsprabhas, B. Effect of pre-heated whey protein level and salt on texture development of poultry meat batters – *Food Research International* 32, 145-149, 1999.

- Otremba, Dikeman y otros. Interrelationships between descriptive texture profile sensory panel and descriptive attribute sensory panel evaluations of beef Longissimus and Semitendinosus muscles - Meat Science 54, 325-332, 2000.
- SAS Institute: SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 6.08 edc. Cary (NC): SAS Institute Inc; USA 1995.
- Whiting R. 1988. Ingredients and processing factors that control muscle protein functionality. Food Technology, 42: 104-110.
- Carballo J., Ayo J., Jiménez C. 2006. Microbial transglutaminase and caseinate as cold set binders: Influence of meat species and chilling storage. LWT - Food Science and Technology, 39: 692-699
- Ramirez J., Uresti R., Tellez-Luis S., Vazquez M. 2002. Using salt and microbial transglutaminase as binding agents in restructured fish products resembling ham. Journal of Food Science, 67: 1778-1784.
- Pietrazik Z. & Shand P. 2003. The effect of quantity and timing of brine addition on water binding and textural characteristics of cooked beef rolls. Meat Science, 65: 771-778.
- Cofrades S., Ayo J., Serrano A., Carballo J. Jimenes C. 2006. Walnut, microbial transglutaminase and chilling storage time effects on salt-free beef batter characteristics. Europe Food Research and Technology, 222: 458-466.
- Tellez-Luis S., Uresti M., Ramírez J., Vazquez M. 2002. Low-salt restructured fish products using microbial transglutaminase. Journal of Food Science Agriculture, 82: 953-958.
- Samejima K., Egelandsdal B., Fretheim K. 1985. Heat gelation properties and protein extractability of beef myofibrils. Journal of Food Science, 50: 1540-1544.
- Trespalacios P. & Reyes P. 2007. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. Food Chemistry, 100: 264-272.

- Pietrasik Z. & Li-Chan E. 2002. Binding and textural properties of beef gels as affected by protein, K-carrageenan and microbial transglutaminase addition. *Food Research International*, 35: 91-98.
- Dondero M., Figueroa V., Morales X., Curotto E. 2006. Transglutaminase effects on gelation capacity of thermally induced beef protein gels. *Food Chemistry*, 99: 546-554
- Kerry J., O'Donnell A., Brown H., Kerry J., Buckley D. 1999. Optimization of transglutaminase as a cold set binder in low-salt beef and poultry comminuted meat products using response surface methodology. In *Proceedings 45th International Congress of Meat Science and Technology*. 144-141.
- Pietrazik Z. 2003. Binding and textural properties of beef gels processed with k-carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase. *Meat Science*, 63: 317-324.
- Brunton N., Lyng J., Zhang L. Jacquier C. 2006. The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef *biceps femoris* muscle during cooking from 85 °C. *Meat Science*, 72: 236-244.
- Serrano A., Cofrades S., Jiménez C. 2004. Transglutaminase as binding agent in fresh restructured beef steak with added walnuts. *Food Chemistry*, 85: 423-429.
- Tseng T., Liu D., Chen M. 2000. Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meat-balls. *Meat Science*, 55: 427-431.
- Boles J. & Shand J. 1999. Effects of raw binder system, meat cut and prior freezing on restructured beef. *Meat Science*, 53: 233-239.
- Dimitrakopoulou M., Ambrosiadis J., Zetou F., Bloukas J. 2005. Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. *Meat Science*, 70: 743-749.
- Jimenez C., Ayo M., Carballo J. 2005. Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase

combined with caseinate, KCL and dietary fibre as salt replacers. *Meat Science*, 69: 781-788.

- Westort C. & Hultin H. 1996. A procedure for the preparation of empty cell segments from skeletal muscle using solutions of low ionic strength. *Anal. Biochemistry*, 16: 31419.
- Kuraishi C., Sakamoto J., Yamazaki K., Susa Y., Kuhara C., Soeda T. 1997. Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *Journal of Food Science*, 62: 448-490.
- Ramirez J., Santos I., Morales O., Morrisey M., Vazquez M. 2000b. Application of microbial transglutaminase to improve mechanical properties of surimi from silver carp. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, 3: 21-28.
- Uresti R., Tellez-Luis S., Ramirez J., Vazquez M. 2004. Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food Chemistry*, 86: 257-262.
- Ramirez J., A. del Angel, Uresti R., Velazquez G., Vazquez M. 2007. Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additive. *Food Chemistry*, 102: 243-249.
- Uresti R., Velazquez G., Vazquez M., Ramirez J., Torres J. 2006. Effects of combining microbial transglutaminase and high pressure processing treatments on the mechanical properties of heat-induced gels prepared from arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*). *Food Chemistry*, 94: 202-209.
- Boyer C., Joandel S., Roussilhes V., Culioli J., Ouali A. 1996. Heat-induced gelation of myofibrillar proteins and myosin from fast- and slow-twitch rabbit muscles. *Journal of Food Science*, 61: 1138-1142.
- Lantto R., Poulanne E., Kalkkinen N., Buchert J., Autio K. 2005. Enzyme-Aided modification of chicken-breast myofibril proteins: Effect of Laccase and Transglutaminase on gelation and thermal stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 9231-9237.

- Jong G. & Koppelman S. 2002. Transglutaminase catalyzed reaction: impact on food application. *Journal of Food Science*, 67: 2798-2806.
- Uresti R., Ramirez J., Lopez-Arias N., Vazquez M. 2003b. Negative effect of combining microbial transglutaminase with low methoxyl pectins on the mechanical properties and color attributes of fish gels. *Food Chemistry*, 80: 551-556.
- Kuraishi C., Yamasaki K., Susa Y. 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17: 221-246.
- Ramirez J., Rodriguez-Sosa R., Morales O., Vazquez M. 2000a. Surimi gels from striped mullet (*Mugil cephalus*) employing microbial transglutaminase. *Food Chemistry*, 70: 443-449.
- Morales O., Ramirez J., Vivanco D., Vazquez M. 2001. Surimi of fish species from the Gulf of México: evaluation of the setting phenomenon. *Food Chemistry*, 75: 43-48
- Nielsen P. 1995. Reactions and potential industrial applications of transglutaminase. Review of literature and patents. *Food Biotechnology*, 9: 119-156.
- O'Kennedy B. 2000. Use of novel dairy ingredients in processed meats. End of the project report 1999: DPRC No. 15. Dairy Products Research Centre. Teagast, Dublin, Ireland.
- Cuq B., Gontard N., Gilbert S. 1997. Thermal properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by moisture content. *Polymer*, 38: 2399–2405
- Aktas N. & Kilic B. 2005. Effect of microbial transglutaminase on thermal and electrophoretic properties of ground beef. *LWT-Food Science and Technology*, 38: 815-819.
- Jimenez C., Ayo M., Carballo J. 2005. Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: effect of transglutaminase combined with caseinate, KCL and dietary fibre as salt replacers. *Meat Science*, 69: 781-788.
- Uresti R., Velazquez G., Vazquez M., Ramirez J., Torres J. 2006. Effects of combining microbial transglutaminase and high pressure processing

treatments on the mechanical properties of heat-induced gels prepared from arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*). Food Chemistry, 94: 202-209.

- Ramirez-Suarez J. & Xiong Y. 2003. Effect of transglutaminase-induced cross-linking on gelation of myofibrillar/soy protein mixture. Meat Science, 65: 899-907.
- Tornberg E. 2005. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. Meat Science, 70: 493-508.
- Dickerson R. & Geis I. 1969. The structure and action of proteins. New York: Harper and Row, Inc.
- Bendall J. & Restall J. 1983. The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef *M. psoas* and *M. sternomandibularis* muscles at varying heating rates and temperatures. Meat Science, 8: 93-117.
- Samejima K., Egelandsdal B., Fretheim K. 1985. Heat gelation properties and protein extractability of beef myofibrils. Journal of Food Science, 50: 1540-1544.
- Wright D., Leach I., Wilding P. 1997. Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituents. Journal of Science Food and Agriculture, 28: 557.
- Barbut S. & Findlay J. 1991. Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle. Journal of Food Science, 56: 180-182.
- Sakamoto H., Kumazawa Y., Toguchi S., Seguro K., Soeda T., Motoki M. 1995. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during onshore surimi manufacture. Journal of Food Science, 50: 1540-1544.
- King N. & Harris P. 1982. Heat-induced tenderisation of meat by endogenous carboxyl proteases. Meat Science, 6: 137-148.
- Xiong Y. & Brekke C. 1990. Thermal transition of salt-soluble proteins from pre and post-rigor chicken muscles. Journal of Food Science, 55: 1540.

- Sharp A. & Offer G. 1992. The mechanism of formation of gels from myosin molecules. *Journal of Science Food and Agriculture*, 58: 63-73.
- Anon. 1998. Basic properties of transglutaminase (information bulletin). Tecanec, NJ:Ajinomoto. USA, Inc.
- Ramirez J., Martha O., Martin-Polo., Bandman E. 2000. Fish Myosin aggregation as affected by freezing and initial physical state. *Food Chemistry and Toxicology*, 65: 556-560.
- Nielsen P. 1995. Reactions and potential industrial applications of transglutaminase. Review of literature and patents. *Food Biotechnology*, 9: 119-156.
- Dickinson E. 1997. Enzymic crosslinking as a tool for food colloid rheology control and interfacial stabilization. *Trends in Food Science & Technology*, 8: 334-339.
- Dickinson, E., & Pawlowsky, K. (1997). Effect of i-carrageenans on flocculation, creaming, and rheology of a protein-stabilized emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 3799–3806.
- Drummond L. & Sun Da-Wen. 2006. Feasibility of water immersion cooking of beef joints: effect on product quality and yield. *Journal of Food Engineering*, 77: 289-294.
- Siegel D G., Church K., Schimidt G. 1979. Gel structure of non-meat proteins as related to their ability to bind meat pieces. *Journal of Food Science*, 44: 1276–1279.
- Lawrie R. 1998. Woodhead Publishing, Cambridge (6th ed.).
- Doerscher D., Briggs J., Lonergan S. 2003. Effects of pork collagen on thermal and viscoelastic properties of purified porcine myofibrillar protein gels. *Meat Science*, 66: 181–188.
- Damodaran S., Parraf A. 1997. Food proteins and their application, Marcel Dekker, New York. 111–142.
- Findlay C., Parkin K., Stanley D. 1989. Differential scanning calorimetry can determine kinetics of thermal denaturation off beef muscle proteins. *Journal of Food Biochemistry*, 10: 1-15.

- Lanier T. 1991. Interactions of muscle and non-muscle protein affecting heat set gel rheology. In N. Parris, & R. Barford (Eds.), Interactions of food proteins. Washington, DC: ASC Series 454. 35, 387–396.
- Kim S., Carpenter J., Lanair T., Wicker L. 1993. Polymerization of beef actomyosin induced by transglutaminase. *Journal of Food Science*, 58: 473–474.
- Trius A. & Sebranek J. 1996. Carrageenans and their use in meat products. *Food Science and Nutrition*, 36: 69–85.
- Drohan D., Tziboula A., McNulty D., Horne D. 1997. Milk protein–carrageenan interactions. *Food Hydrocolloids*, 11: 101–107.
- Baeza R., Carp D., Perez O., Pilosof M. 2002. k-Carragenan–protein interactions: effect of proteins on polysaccharide gelling and textural properties. *Lebensm.-Wissu.-Technology*, 35: 741–747.
- Xiong Y., Noel D., Moody W. 1999. Textural and sensory properties of low fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt. *Journal of Food Science*, 64: 550–554.
- DeFreitas Z., Sebranek J., Olson G., Carr J. 1997. Carrageenan effects on salt soluble meat proteins in model systems. *Journal of Food Science*, 62: 539–543.
- Uresti R., Tellez-Luis S., Ramirez J., Vazquez M. 2004. Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food Chemistry*, 86: 257-262.
- Motoki M. & Seguro K. 1998. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 9: 204-210.
- Uresti R., Lopez-Arias N., Gonzalez-Cabrieles J., Ramirez J., Vazquez M. 2003a. Use of amidated low methoxyl pectin to produce fish restructured products. *Food Hydrocolloids*, 17: 171-176.
- Kilic B. 2003. Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken doner kebab. *Meat Science*, 63: 417-421.
- Muguruma M., Tsuruoka K., Katayama K., Erwanto Y., Kawahara S., Yamauchi K., Sathe S., Soeda T. 2003. Soybean and milk proteins

modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. *Meat Science*, 63: 191-197

- Tsai-Fuh Tseng, Ming-Tasao Chen, Deng-Cheng Liu. 2002. Purification of transglutaminase and its effect on myosin heavy chain and actin of spent hens. *Meat Science*, 60: 267-270.
- Ramirez J., Uresti R., Tellez-Luis S., Vazquez M. 2002. Using salt and microbial transglutaminase as binding agents in restructured fish products resembling ham. *Journal of Food Science*, 67: 1778-1784.
- Galazka V., Dickinson E., Ledward D. 2000. Emulsifying properties of ovoalbumin in mixtures with sulphated polysaccharides: effects of pH, ionic strength, heat and high-pressure treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1219–1229.
- Dickinson, E., & Pawlowsky, K. (1997). Effect of i-carrageenans on flocculation, creaming, and rheology of a protein-stabilized emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 3799–3806.
- Chin K., Keeton T., Longnecker T., Lamkey W. 1996. Utilization of soy protein isolate and konjac blends in a low fat bologna (model system). *Meat Science*, 53: 45–57.
- Trius A. & Sebranek J. 1996. Carrageenans and their use in meat products. *Food Science and Nutrition*, 36: 69–85.

CUADROS DE RESULTADOS

CUADRO 1. Efecto de la adición de MTGasa sobre la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción de los geles cárnicos reestructurados.

	MTGasa 0%	MTGasa 0.3%	E.E.
CRA	18.55	16.12	0.75
Pérdida por cocción	0.66	0.78	0.07

CRA = Capacidad de retención de agua

CUADRO 2. Efecto de la adición de dos diferentes tipos de carragenina sobre la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción de los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0	1	2	E.E.
CRA	16.57 ^a	18.02 ^a	17.41 ^a	0.91
Pérdida por cocción	1.41 ^a	0.32 ^b	0.43 ^b	0.09

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

CRA = Capacidad de retención de agua

0= Sin carragenina, 1= Carragenina Nutrer, 2= Carragenina comercial

CUADRO 3. Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos térmicos sobre la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción de los geles cárnicos reestructurados.

Tratamiento	Activación	Cocción	Refrigeración	E.E.
CRA	19.67 ^a	18.33 ^a	14.01 ^b	0.91
Pérdida por cocción	1.06 ^a	1.14 ^a	-0.03 ^b	0.09

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente ($P < 0.05$)

CRA = Capacidad de retención de agua

CUADRO 4. Efecto de la carragenina y tratamientos térmicos sobre la pérdida por cocción de los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0			1			2			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	A	C	R	E.E.
CRA	2.11 ^a	2.15 ^a	-0.03 ^b	0.51 ^c	0.58 ^c	-0.11 ^b	0.57 ^c	0.68 ^c	0.04 ^b	0.16
P. por cocción	2.11 ^a	2.15 ^a	-0.03 ^b	0.51 ^c	0.58 ^c	-0.11 ^b	0.57 ^c	0.68 ^c	0.04 ^b	0.16

^{a, b, c} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CRA = Capacidad de retención de agua

CUADRO 5. Efecto de la adición de MTGasa sobre los parámetros de color de los geles cárnicos reestructurados.

	MTGasa 0%	MTGasa 0.3%	E.E.
Croma	12.88	10.85	0.28
Hue	60.71	62.25	0.30

CUADRO 6. Efecto de la adición de dos diferentes tipos de carragenina sobre los parámetros de color de los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0	1	2	E.E.
Croma	11.13 ^a	12.54 ^b	11.93 ^{a,b}	0.35
Hue	61.23 ^a	60.89 ^a	62.33 ^b	0.37

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

CUADRO 7. Efecto de la temperatura de incubación sobre los parámetros de color de los geles cárnicos reestructurados.

Tratamiento	Activación	Cocción	Refrigeración	E.E.
Croma	8.94 ^a	10.45 ^b	16.22 ^c	0.35
Hue	67.24 ^a	67.70 ^a	49.50 ^b	0.37

^{a, b, c} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

CUADRO 8. Efecto de la temperatura de incubación y concentración de enzima sobre los parámetros de color de los geles cárnicos reestructurados.

Tratamiento	0%			0.3%			E.E.
	A	C	R	A	C	R	
Croma	9.08 ^a	11.95 ^b	17.62 ^c	8.79 ^a	8.95 ^a	14.81 ^d	0.49
Hue	67.25 ^a	67.04 ^a	47.84 ^b	67.24 ^a	68.35 ^a	51.16 ^c	0.53

^{a, b, c, d} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CUADRO 9. Efecto de la concentración de MTGasa y carragenina sobre el parámetro Hue de color de los geles cárnicos reestructurados.

MTGasa	0%			0.3%			
Carragenina	0	1	2	0	1	2	E.E.
Hue	60.01 ^a	61.05 ^a	61.07 ^a	62.45 ^b	60.72 ^b	63.58 ^b	0.53

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

CUADRO 10. Efecto de la adición de carragenina y la aplicación de los tratamientos térmicos sobre el parámetro Hue de color de los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0			1			2			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	A	C	R	E.E.
Hue	68.11 ^a	68.49 ^a	47.09 ^b	66.03 ^c	66.77 ^{a,c}	49.86 ^d	67.6 ^{a,c}	67.8 ^{a,c}	51.55 ^d	0.53

^{a, b, c, d} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CUADRO 11. Efecto de la adición de MTGasa sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

	MTGasa 0%	MTGasa 0.3%	E.E.
Fractura	4.25	6.17	0.06
Dureza	9.79	11.53	0.12
Elasticidad	0.56	0.63	0.00
Cohesividad	0.21	0.22	0.00
Masticabilidad	1.58	2.00	0.03

CUADRO 12. Efecto de la adición de carragenina sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0	1	2	E.E.
Fractura	4.61 ^a	5.49 ^b	5.54 ^b	0.07
Dureza	10.21 ^a	10.43 ^a	11.35 ^b	0.15
Elasticidad	0.60 ^a	0.60 ^a	0.60 ^a	0.00
Cohesividad	0.22 ^a	0.20 ^a	0.21 ^a	0.00
Masticabilidad	1.84 ^{a,b}	1.63 ^a	1.90 ^b	0.04

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

CUADRO 13. Efecto de los diferentes tratamientos térmicos sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

Tratamiento	Activación	Cocción	Refrigeración	E.E.
Fractura	8.05 ^a	7.22 ^b	0.36 ^c	0.07
Dureza	15.48 ^a	14.31 ^b	2.20 ^c	0.15
Elasticidad	0.78 ^a	0.76 ^b	0.25 ^c	0.00
Cohesividad	0.22 ^a	0.22 ^a	0.20 ^b	0.00
Masticabilidad	2.80 ^a	2.45 ^b	0.12 ^c	0.04

^{a, b, c} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

CUADRO 14. Efecto de la interacción de MTGasa y carragenina sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

MTGasa	0%			0.3%			E.E.
	0	1	2	0	1	2	
Fractura	3.44 ^a	4.61 ^b	4.71 ^b	5.77 ^c	6.37 ^d	6.38 ^d	0.11
Dureza	9.05 ^a	10.06 ^b	10.25 ^{b,c}	11.36 ^d	10.80 ^{c,d}	12.44 ^e	0.21
Elasticidad	0.56 ^a	0.56 ^{a,b}	0.57 ^b	0.64 ^c	0.63 ^{c,d}	0.63 ^d	0.00
Cohesividad	0.22 ^a	0.20 ^b	0.20 ^b	0.23 ^c	0.21 ^b	0.22 ^{a,c}	0.00
Masticabilidad	1.56 ^a	1.55 ^a	1.64 ^a	2.12 ^b	1.71 ^a	2.17 ^b	0.06

^{a, b, c, d, e} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

CUADRO 15. Efecto de la adición de MTGasa y la aplicación de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

MTGasa	0%			0.3%			E.E.
	A	C	R	A	C	R	
Fractura	6.11 ^a	6.39 ^a	0.25 ^b	9.99 ^c	8.05 ^d	0.48 ^b	0.11
Dureza	13.78 ^a	13.84 ^a	1.74 ^b	17.18 ^c	14.77 ^d	2.65 ^e	0.21
Elasticidad	0.75 ^a	0.75 ^a	0.19 ^b	0.82 ^c	0.78 ^d	0.30 ^e	0.00
Cohesividad	0.22 ^a	0.22 ^a	0.18 ^b	0.23 ^a	0.21 ^a	0.22 ^a	0.00
Masticabilidad	2.34 ^a	2.34 ^a	0.06 ^b	3.27 ^c	2.55 ^d	0.18 ^b	0.06

^{a, b, c, d, e} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CUADRO 16. Efecto de la adición de carragenina y la aplicación de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0			1			2			E.E.
	A	C	R	A	C	R	A	C	R	
Fractura	7.16 ^a	6.27 ^b	0.39 ^c	8.47 ^d	7.62 ^e	0.38 ^c	8.53 ^d	7.78 ^e	0.31 ^c	0.13
Dureza	15.23 ^a	13.4 ^b	1.89 ^c	15.2 ^a	13.6 ^b	2.46 ^c	15.9 ^d	15.8 ^d	2.24 ^c	0.26
Elasticidad	0.78 ^a	0.77 ^{a,b}	0.25 ^c	0.78 ^a	0.76 ^b	0.25 ^c	0.79 ^a	0.76 ^b	0.24 ^c	0.00
Cohesividad	0.24 ^a	0.23 ^a	0.20 ^b	0.21 ^c	0.20 ^c	0.20 ^b	0.22 ^c	0.22 ^c	0.22 ^b	0.00
Masticabilidad	2.93 ^a	2.48 ^b	0.10 ^c	2.64 ^b	2.11 ^d	0.14 ^c	2.85 ^{a,b}	2.75 ^{a,b}	0.12 ^c	0.08

^{a, b, c, d, e} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CUADRO 17. Efecto de la adición de MTGasa, carragenina y aplicación de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de textura (TPA) de los geles cárnicos reestructurados.

0%										
MTGasa										
Carragenina	0			1			2			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	A	C	R	E.E.
Fractura	4.68 ^a	5.39 ^b	0.24 ^c	6.92 ^d	6.60 ^d	0.30 ^c	6.73 ^d	7.18 ^d	0.21 ^c	0.19
Dureza	13.3 ^a	12.4 ^a	1.38 ^b	14.0 ^{a,c}	14.0 ^{a,d}	2.05 ^b	13.9 ^{a,e}	15.0 ^{c,d}	1.79 ^b	0.36
Elasticidad	0.75 ^a	0.73 ^a	0.18 ^b	0.74 ^a	0.75 ^{a,e}	0.19 ^b	0.76 ^a	0.75 ^a	0.20 ^b	0.00
Cohesividad	0.24 ^a	0.23 ^{a,b}	0.29 ^c	0.21 ^d	0.21 ^d	0.18 ^c	0.21 ^d	0.22 ^{b,d}	0.19 ^c	0.00
Masticabilidad	2.46 ^a	2.26 ^{a,g}	0.04 ^c	2.25 ^a	2.32 ^a	0.07 ^c	2.32 ^a	2.54 ^{a,d}	0.06 ^c	0.11

0.3%										
MTGasa										
Carragenina	0			1			2			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	A	C	R	E.E.
Fractura	9.63 ^e	7.14 ^d	0.55 ^c	10.0 ^e	8.64 ^f	0.46 ^c	10.3 ^e	8.38 ^f	0.41 ^c	0.19
Dureza	17.1 ^f	14.5 ^{c,d,e}	2.41 ^b	16.4 ^f	13.1 ^{a,c,e}	2.86 ^b	18.0 ^f	16.63 ^f	2.69 ^b	0.36
Elasticidad	0.81 ^c	0.80 ^c	0.31 ^d	0.82 ^c	0.77 ^a	0.31 ^d	0.81 ^c	0.77 ^{a,e}	0.29 ^d	0.00
Cohesividad	0.24 ^{a,b}	0.23 ^{a,b}	0.21 ^d	0.22 ^{b,d}	0.18 ^c	0.23 ^{a,b,d}	0.22 ^{a,b,d}	0.22 ^{a,b,d}	0.21 ^d	0.00
Masticabilidad	3.40 ^e	2.80 ^{d,f}	0.16 ^c	3.03 ^f	1.90 ^g	0.21 ^c	3.37 ^e	2.96 ^{d,f}	0.17 ^c	0.11

^{a, b, c, d, e, f} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial, A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CUADRO 18. Efecto de la adición de MTGasa sobre los parámetros de punción en los geles cárnicos reestructurados.

	MTGasa 0%	MTGasa 0.3%	E.E.
Fuerza de corte	2.12	2.82	0.02
Deformación	12.86	12.40	0.23
Fuerza del gel	21.62	30.97	0.61

CUADRO 19. Efecto de la adición de Carragenina sobre los parámetros de punción en los geles cárnicos reestructurados.

Carragenina	0	1	2	E.E.
Fuerza de corte	2.35 ^a	2.51 ^b	2.56 ^b	0.03
Deformación	12.64 ^a	12.56 ^a	12.70 ^a	0.29
Fuerza del gel	25.58 ^a	26.77 ^a	26.53 ^a	0.75

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

CUADRO 20. Efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos térmicos sobre los parámetros de punción en los geles cárnicos reestructurados.

Tratamiento	Activación	Cocción	Refrigeración	E.E.
Fuerza de corte	3.72 ^a	3.28 ^b	0.41 ^c	0.03
Deformación	10.33 ^a	9.92 ^a	17.65 ^b	0.29
Fuerza del gel	39.10 ^a	32.56 ^b	7.23 ^c	0.75

^{a, b, c} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

CUADRO 21. Efecto de la adición de MTGasa y Carragenina sobre los parámetros de punción en los geles cárnicos reestructurados.

MTGasa	0%			0.3%			
Carragenina	0	1	2	0	1	2	E.E.
Fuerza de corte	1.87 ^a	2.15 ^b	2.33 ^c	2.82 ^d	2.86 ^d	2.79 ^d	0.04
Fuerza del gel	19.57 ^a	21.56 ^{a,b}	23.74 ^b	31.58 ^c	31.98 ^c	29.33 ^c	1.06

^{a, b, c, d} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

0 = Sin carragenina, 1 = Carragenina Nutrer, 2 = Carragenina comercial

CUADRO 22. Efecto de la adición de MTGasa y la aplicación de los diferentes tratamientos térmicos sobre los parámetros de punción en los geles cárnicos reestructurados.

MTGasa	0%			0.3%			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	E.E.
Fuerza de corte	3.14 ^a	2.90 ^b	0.31 ^c	4.30 ^d	3.66 ^e	0.51 ^f	0.04
Deformación	9.46 ^a	10.00 ^a	19.13 ^b	11.21 ^c	9.84 ^c	16.17 ^d	0.41
Fuerza del gel	29.73 ^a	29.02 ^a	6.12 ^b	48.47 ^c	36.10 ^c	8.34 ^b	1.06

^{a, b, c, d, e, f} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

A = Activación, C = Cocción, R = Refrigeración

CUADRO 23. Efecto de la interacción de la MTGasa, carragenina y los diferentes tratamientos térmicos sobre la fuerza de corte de los geles cárnicos reestructurados.

MTGasa 0%										
	0			1			2			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	A	C	R	E.E.
Fuerza de corte	2.77 ^a	2.59 ^a	0.25 ^b	3.07 ^c	3.03 ^c	0.36 ^b	3.57 ^d	3.08 ^c	0.33 ^b	0.07

^{a, b, c, d, e} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

A= Activación, C= Cocción, R= Refrigeración

MTGasa 0.3%										
	0			1			2			
Tratamiento	A	C	R	A	C	R	A	C	R	E.E.
Fuerza de corte	4.32 ^e	3.64 ^d	0.51 ^b	4.52 ^e	3.56 ^d	0.51 ^b	4.07 ^f	3.78 ^d	0.51 ^b	0.07

^{a, b, c, d, e} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

A= Activación, C= Cocción, R= Refrigeración

CUADRO 24. Comparación de los parámetros de color de los diferentes jamones elaborados.

	JAMON 1	JAMON 2	JAMON 3	E.E.
L*	59.97 ^a	56.04 ^b	56.95 ^c	0.31
a*	9.53 ^a	10.37 ^b	10.91 ^b	0.13
b*	10.03 ^a	10.11 ^b	10.70 ^b	0.14
Croma	13.87 ^a	14.78 ^b	15.02 ^b	0.17
HUE	46.45 ^a	43.82 ^b	45.47 ^b	0.62

^{a, b, c} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

Jamón 1= Control, Jamón 2= MTGasa, Jamón 3= MTGasa + Carragenina

CUADRO 25. Comparación de los parámetros de textura (TPA) de los diferentes jamones elaborados.

	JAMON 1	JAMON 2	JAMON 3	E.E.
Fractura	8.86 ^a	20.0 ^b	18.53 ^b	1.57
Dureza	11.98 ^a	21.45 ^b	20.56 ^b	1.05
Elasticidad	0.73 ^a	0.80 ^b	0.77 ^b	0.006
Cohesividad	0.23 ^a	0.95 ^b	1.69 ^b	0.002
Masticabilidad	2.16 ^a	2.80 ^b	2.96 ^b	0.09

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente (P<0.05)

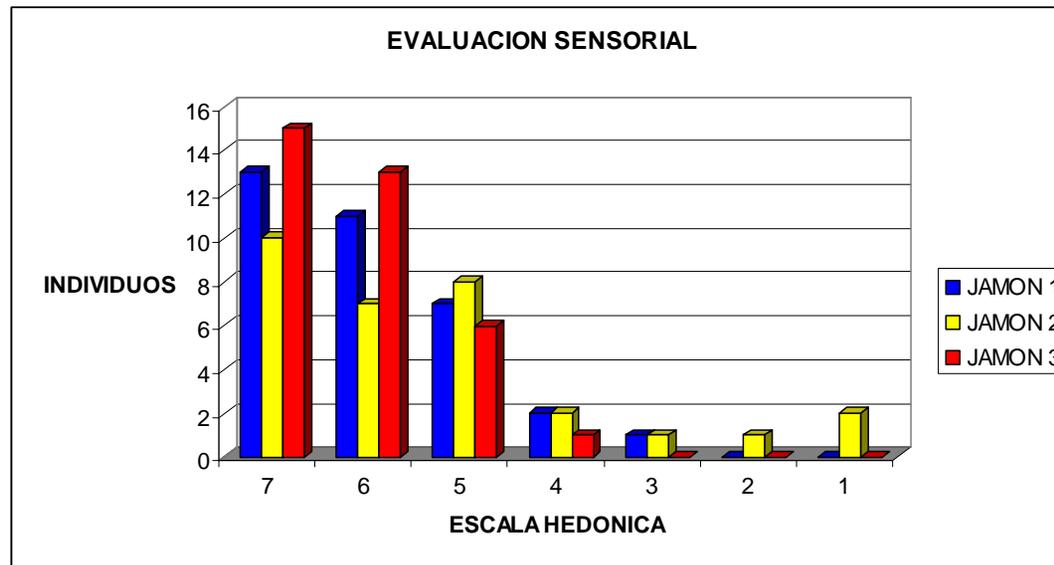
Jamón 1= Control, Jamón 2= MTGasa, Jamón 3= MTGasa + Carragenina

CUADRO 26. Comparación de los parámetros de punción de los diferentes jamones elaborados.

	JAMON 1	JAMON 2	JAMON 3	E.E.
Fuerza de ruptura	1.15 ^a	1.76 ^a	2.67 ^b	0.24
Deformación	0.78	0.79	0.64	0.07
Fuerza del gel	0.91 ^a	1.65 ^a	2.53 ^b	0.28

^{a, b} Literales diferentes dentro de la misma fila indica medias diferentes significativamente ($P < 0.05$)

Grafica 1. Comparación de la evaluación sensorial realizada en los diferentes jamones elaborados.



Jamón 1= Control, Jamón 2= MTGasa, Jamón 3= MTGasa + Carragenina

- 1= Disgusta extremadamente
- 2= Disgusta moderadamente
- 3= Disgusta poco
- 4= Indiferente
- 5= Gusta poco
- 6= Gusta moderadamente
- 7= Gusta mucho