



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA
SALUD ANIMAL.**

**DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS EN LA
REESTRUCTURACIÓN CÁRNICA DE RES ADICIONANDO
TRANSGLUTAMINASA MICROBIANA**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

N. MARTÍN CASTRO BRIONES

T U T O R

MARÍA DE LA SALUD RUBIO LOZANO

MÉXICO D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a mi familia. En primer lugar, agradezco a mis padres, Tete y Pacha, quienes me han ayudado, enseñado, motivado, alentado, presionado y hasta regañado un sin fin de veces durante el todo el camino y siempre se mantuvieron enérgicos, positivos, comprensivos y amorosos, además que con su ejemplo me inyectan día a día la necesidad y las ganas de superarme constantemente para intentar ser un bosquejo de las grandes personas que son ustedes, “Gracias por las invaluable enseñanzas y valores transmitidos” esto es para ustedes. En segundo lugar a mis hermanos Chino, Mon, Pat, Borre, quienes han influido directamente en mi formación, que siempre tienen las mejores críticas, pero también sugerencias útiles e inclusive hasta enseñanzas, los quiero mucho. En tercer lugar a los “vagos” mi amigos Any y Lorenz, ustedes me han acompañado por incontables aventuras, secretos, aprendizajes, y hasta regaños, espero sigamos siendo la mejor mini cuadrilla de la FMVZ, gracias por su apoyo. Por ultimo a mis sobrinos, Capo, Monse, Vale, Dany y el que viene, espero ser un apoyo para ustedes, los quiero mucho.

Tuve dos tutores durante esta etapa, Dra. Maria de la Salud Rubio y el Dr. José Ramírez, cada uno participo en mi formación y en la realización de este proyecto en diferentes etapas. “Gracias por su ayuda y guía en este trabajo”

AGRADECIMIENTOS

A los Doctores investigadores de la Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por permitirme utilizar las instalaciones, proporcionarme su ayuda, conocimientos y amistad.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	iii	
LISTA DE CUADROS	v	
RESUMEN	vii	
ABSTRACT	viii	
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.1.	Situación actual de la producción cárnica en México	3
2.2.	Carne	5
2.2.1.	Proteínas musculares	5
2.2.2.	Gelificación de las proteínas	6
2.2.4.	Etapas de la gelificación de las proteínas	6
2.3.	Actualidad alimentaria	8
2.3.1.	Alimentos reestructurados	9
2.4.	Transglutaminasa	11
2.4.1.	Transglutaminasa endogena (TGasa)	12
2.4.2.	Transglutaminasa microbiana (MTGasa)	13
2.4.3.	Aplicación de la MTGasa en los alimentos	15
2.4.4.	MTGasa en productos cárnicos	16
2.5.	Carragenina	17
2.6.	Factores de calidad de los productos cárnicos	19
2.6.1.	Textura de los alimentos	19
2.6.1.1.	Atributos de textura	19
2.6.1.2.	Métodos instrumentales en la medición de textura	22
2.6.2.	Color	23
2.6.2.1.	CIELAB (L^* , a^* , b^*)	25
2.6.3.	Capacidad de retención de agua	25
2.6.4.	Análisis sensorial	26
2.6.4.1.	Análisis afectivo.	27
3.	HIPÓTESIS	28
4.	OBJETIVO	29
4.1.	Objetivos particulares	29
5.	MATERIAL Y MÉTODOS	30
5.1.1.	Carne de res	30
5.1.2.	Transglutaminasa microbiana	30
5.1.3.	Carragenina	30
5.2.	Metodología	30
5.2.1.	Etapas	31
5.2.2.	Etapas	34
5.2.3.	Elaboración general de los geles cárnicos reestructurados de bovino	34
5.2.4.	Elaboración del Roast beef reestructurado de bovino	35
5.2.5.	Elaboración de los Nuggets reestructurados de bovino	36

5.2.6.	Propiedades mecánicas	37
5.2.7.	Atributos de color	38
5.2.8.	Capacidad de retención de agua	38
5.2.9.	Perdida por cocción	38
5.2.10.	Evaluación sensorial	39
5.2.11.	Análisis estadístico	39
6.	RESULTADOS	30
6.1.	Condiciones óptimas de tiempo y temperatura durante la incubación	40
6.1.1.	Pruebas mecánicas	40
6.1.2.	Color	41
6.1.3.	Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción	42
6.2.	Condiciones óptima de incubación y efecto de la refrigeración después de la incubación	46
6.2.1.	Pruebas mecánicas	46
6.2.2.	Color	47
6.2.3.	Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción	47
6.3.	Efecto de la interacción de las condiciones de incubación con la concentración en la adición de la MTGasa	53
6.3.1.	Pruebas mecánicas	53
6.3.2.	Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción	54
6.3.3.	Color	55
6.4.	Efecto de la interacción en la adición de MTGasa y la carragenina en los GCR.	65
6.4.1.	Pruebas mecánicas	65
6.4.2.	Color	66
6.4.3.	Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción.	67
6.5.	Elaboración de productos cárnicos reestructurados (Roast Beef y Nugget) adicionando MTGasa y carragenina.	72
6.5.1.	Pruebas mecánicas	72
6.5.2.	Color	72
6.5.3.	Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción	73
6.5.4.	Evaluación sensorial	73
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
7.1.	Condiciones óptimas de tiempo y temperatura durante la incubación	78
7.2.	Condiciones óptima de incubación y efecto de la refrigeración después de la incubación	81
7.3.	Efecto de la interacción de las condiciones de incubación con la concentración en la adición de la MTGasa	85
7.4.	Efecto de la interacción en la adición de MTGasa y la carragenina en los GCR.	90
7.5.	Elaboración de productos cárnicos reestructurados (Roast Beef y Nugget) adicionando MTGasa y carragenina.	94
8.	BIBLIOGRAFÍA	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Evolución de la producción de carne por especie	4
Figura 2.	Proceso de gelificación de las proteínas mifibrilares	7
Figura 3.	Reacción catalizada por la Transglutaminasa	11
Figura 4.	Diferencia en el funcionamiento de la transglutaminasa con otras enzimas	12
Figura 5.	Condiciones óptimas para la actividad de la transglutaminasa	12
Figura 6.	Estructura primaria de la MTGasa	14
Figura 7.	Redes tridimensionales entre proteínas por la acción de la MTGasa	15
Figura 8.	Foto del <i>Chondrus crispus</i> en su estado natural	17
Figura 10.	Anillo de matiz	23
Figura 11.	Tabla de cromaticidad	24
Figura.12.	Escala de luminosidad	24
Figura 13.	Graficas de color CIELAB	25
Figura 14.	Grafica de TPA obtenida del software textural analyzer	37
Figura 15.	Efecto de la temperatura de incubación y adición de la MTGasa en la de fracturabilidad y dureza de los GCR	42
Figura 16.	Efecto de la temperatura de incubación y adición de la MTGasa en los parámetros de la prueba de punción de los GCR	43
Figura 17.	Comparación del efecto de la incubación y refrigeración en la fracturabilidad de los GR y GC	48
Figura 18.	Efecto de la temperatura de incubación y concentración de MTGasa en la prueba de punción	56
Figura 19.	Efecto de la refrigeración posterior a la incubación y concentración de MTGasa en la prueba de punción	57
Figura 20.	Efecto de la refrigeración posterior a la incubación y concentración de MTGasa en la fracturabilidad y dureza	58
Figura 21.	Efecto de la refrigeración posterior a la incubación y concentración de MTGasa en la elasticidad, cohesividad y masticabilidad de los GR	59
Figura 22.	Efecto de la incubación y concentración de MTGasa en la fracturabilidad y dureza de los GC	60
Figura 23.	Efecto de la incubación y concentración de MTGasa en la elasticidad, cohesividad y masticabilidad de los GC	61
Figura 24.	Comparación de los parámetros de fracturabilidad dureza y masticabilidad de los diferentes roast beef	74
Figura 25.	Comparación de los parámetros de fracturabilidad dureza y masticabilidad de los diferentes nuggets	74
Figura 26.	Comparación de los parámetros de elasticidad y cohesividad de los diferentes roast beef	74
Figura 27.	Comparación de los parámetros de elasticidad y cohesividad de los diferentes nuggets	75
Figura 28.	Comparación de la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción diferentes roast beef	75

Figura 29. Comparación de la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción
diferentes nuggets

75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Definiciones sensoriales y términos descriptivos de las características mecánicas	21
Cuadro 2.	Diseño del estudio 1 (GCR)	31
Cuadro 3.	Diseño del estudio 2 (GC)	32
Cuadro 4.	Diseño del estudio 2 (GR)	32
Cuadro 5.	Diseño del estudio 3 (GC)	33
Cuadro 6.	Diseño del estudio 3 (GR)	33
Cuadro 7.	Diseño del estudio 4 (GCR)	34
Cuadro 8.	Formulación para la elaboración del roast beef reestructurado de res	35
Cuadro 9.	Elaboración de los nuggets reestructurado de res	36
Cuadro 10.	Temperatura de incubación y adición de MTGasa en elasticidad, cohesividad y masticabilidad	44
Cuadro 11.	Temperatura de incubación y adición de MTGasa en los atributos de color de los GCR	44
Cuadro 12.	Temperatura de incubación y la adición de MTGasa en la CRA y PC de los GCR	45
Cuadro 13.	Temperatura y tiempo de incubación en los parámetros de TPA en los GC	48
Cuadro 14.	Refrigeración posterior a la incubación en los parámetros de TPA en los GR	49
Cuadro 15.	Temperatura y tiempo de incubación en los parámetros de la prueba de punción en los GC	49
Cuadro 16.	Temperatura y tiempo de incubación en los parámetros de la prueba de punción en los GR	50
Cuadro 17.	Temperatura y tiempo de incubación en los atributos de color en los GC	50
Cuadro 18.	Temperatura y tiempo de incubación en los atributos de color en los GR	51
Cuadro 19.	Temperatura y tiempo de incubación en la CRA y PC en los GC	51
Cuadro 20.	Temperatura y tiempo de incubación en la CRA y PC en los GR	52
Cuadro 21.	Temperatura de incubación y concentración de enzima en la CRA y PC en los GC	62
Cuadro 22.	Temperatura de incubación y concentración de enzima en la CRA y PC en los GR	63
Cuadro 23.	Temperatura de incubación y concentración de enzima en los atributos de color de los GC	63
Cuadro 24.	Temperatura de incubación y concentración de enzima en los atributos de color de los GR	64
Cuadro 25.	Parámetros de TPA por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR del grupo control	67
Cuadro 26.	Parámetros de TPA por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR incubados	68

Cuadro 27.	Parámetros de la prueba de punción de la interacción de la adición por la enzima y carragenina en los GCR del grupo control	68
Cuadro 28.	Parámetros de la prueba de punción de la interacción de la adición por la enzima y carragenina en los GCR incubados	69
Cuadro 29.	Atributos de color por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR del grupo control	69
Cuadro 30.	Parámetros de la prueba de punción de la interacción de la adición por la enzima y carragenina en los GCR incubados	70
Cuadro 31.	CRA y PC por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR del grupo control	71
Cuadro 32.	CRA y PC por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR incubados	71
Cuadro 33.	Parámetros de la prueba de punción de los diferentes roast beef	76
Cuadro 34.	Parámetros de la prueba de punción de los diferentes nuggets	76
Cuadro 35.	Atributos de color de los diferentes roast beef	76
Cuadro 36.	Atributos de color de los diferentes nuggets	77
Cuadro 37.	Evaluación sensorial del roast beef	77
Cuadro 38.	Evaluación sensorial de los nuggets	77

RESUMEN

La transglutaminasa microbiana o MTGasa (protein-glutamina:amina γ -glutamyl-transferase, E.C. 2.3.2.13) es una enzima extracelular procedente de diferentes microorganismos del género *Streptovercillium spp*, la cual cataliza las uniones entre proteínas incrementando las propiedades mecánicas de los productos reestructurados. El objetivo de la presente investigación fue determinar las condiciones óptimas de incubación en la reestructuración cárnica de res (Roast beef y Nuggets) adicionando MTGasa. Las condiciones óptimas de incubación fueron estudiadas en un modelo llamado “geles cárnicos de res” (GCR), en donde fueron evaluados tiempos (30 y 60 min), temperaturas (40, 50 y 60 °C), refrigeración (4 °C durante 12 h), adición de la enzima MTGasa (0, 1, 3, 5 g/kg) y carragenina (0, 5, 7.5, 10 g/kg) en cuatro diferentes estudios individuales. La elaboración de los productos cárnicos reestructurados fue basada en la información obtenida de estos. Se determinaron los cambios en las propiedades mecánicas (análisis de perfil de textura y prueba de punción), atributos de color, capacidad de retención de agua y pérdida por cocción y sensorial. Los resultados obtenidos muestran que la incubación a 50 °C durante 30 min presenta las condiciones óptimas para la reestructuración de productos cárnicos de res con la adición de la MTGasa. Sin embargo, con las condiciones óptimas de incubación y la adición de 7.5 g/kg de carragenina se pueden disminuir la cantidad de enzima adicionada de 3 g/kg a 1 g/kg.

Palabras claves: Transglutaminasa microbiana, reestructuración, carne de res, incubación, gelificación de proteínas.

ABSTRACT

Microbial transglutaminase or MTGase (protein-glutamina:amina γ -glutamyl-transferase, E.C. 2.3.2.13) is an extracellular enzyme produced by different microorganisms of the genus *Streptovercillium spp.* This enzyme catalyzes the cross-linking between proteins, thus increasing mechanical properties of restructured meat products. The aim of this investigation was to determine the optimal conditions to elaborate restructured beef products (Roast beef and Nuggets) added with MTGase. In order to establish the optimal conditions “restructured beef gels” (GCR) were used a model. Different conditions of time (30 and 60 min), temperature (40, 50 and 60 °C), refrigeration (4 °C for 12 h), MTGase concentration (0, 1, 3, 5 g/kg) and carrageenan addition (0, 5, 7.5, 10 g/kg) were evaluated in GCR studies. Afterwards, restructured beef products were elaborated using optimal conditions obtained by the GCR studies. Changes in mechanical properties (texture profile analysis and puncture test), colour attributes, expressible water, cooking loss and sensory evaluation were determined. Results obtained showed that incubation at 5 °C by 30 min was the best condition for restructured beef product manufacture when the MTGase was added. Nevertheless addition of 7.5 g/kg carrageenan can reduce the MTGase amount requirement from 3 g/kg up to 1 g/kg.

Keywords: Microbial transglutaminase, restructured, beef products, incubated, protein gels.

1. INTRODUCCIÓN

La industria cárnica de bovino necesita una serie de transformaciones tecnológicas para mantenerse vigente y en un estado de competitividad en el mercado de productos cárnicos. Diferentes investigaciones se han centrado en el desarrollo de nuevas tecnologías para la elaboración de productos cárnicos, disminuyendo costos e incrementando el rendimiento de su producción. Para aumentar la rentabilidad en la elaboración de productos cárnicos es necesario utilizar cortes o recortes de carne que por sus condiciones fisicoquímicas y composición anatómica son considerados como de bajo valor comercial. El desarrollo de nuevos productos de calidad con la utilización de todos los cortes de la canal para la elaboración de productos cárnicos puede ayudar a aumentar los beneficios de la industria cárnica. Una metodología que disminuye los costos en la industria cárnica es la “reestructuración”, ya que permite utilizar cortes de bajo valor económico. Para este proceso normalmente se lleva a cabo la reducción del tamaño, reformación y unión de la carne (Kim *et al.*, 1993). La función básica de la reestructuración es la de unir carne mediante una matriz proteica formando un gel (Uresti *et al.*, 2006). La reestructuración de la carne ofrece una gran variedad de ventajas no solamente para los consumidores sino también para la industria cárnica, permitiendo aumentar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados (Serrano *et al.*, 2004).

En la actualidad durante el proceso de reestructuración se utilizan aditivos para mejorar las propiedades funcionales de los alimentos. La adición de ingredientes no cárnicos modificará las propiedades de reestructuración de la carne (Doerscher *et al.*, 2003). La transglutaminasa microbiana (MTGasa) aumenta las propiedades mecánicas de los productos reestructurados. Esta enzima extracelular de origen microbiano tiene la capacidad de unir proteínas de alimentos por medio de enlaces covalentes (Sakamoto *et al.*, 1995; Motoki y Seguro, 1998). Dicha enzima mejora las propiedades mecánicas de textura de alimentos que contengan proteínas (Uresti *et al.*, 2004).

La adición de MTGasa a nivel industrial es de alto costo, por lo cual es necesario estudiar las condiciones óptimas de utilización, mejorando su funcionamiento y disminuyendo las concentraciones necesarias de adición para fomentar su completo uso a nivel industrial. Ramirez-Suarez *et al.*, (2003) mencionaron que la forma más económica para mejorar las propiedades mecánicas de los productos cárnicos

reestructurados utilizando la MTGasa, es optimizando las condiciones y procedimientos de elaboración de los alimentos reestructurados para obtener las condiciones óptimas de actividad de la enzima. El tipo de carne, cantidad, calidad, solubilidad, pH, temperatura de desnaturalización de las proteínas, modificarán las propiedades mecánicas y de formación de los geles cárnicos (Lantto *et al.*, 2005). La completa actividad de la MTGasa está influenciada por la completa desnaturalización y exposición de los sitios activos de las proteínas (Ramírez *et al.*, 2000b). Según Boyer *et al.*, (1996) la miosina es la principal proteína miofibrilar que gelifica por tratamientos térmicos. Bendall y Restall, (1983) reportaron que la temperatura de desnaturalización de la miosina es entre 40 a 60 °C. Por otro lado la temperatura de actividad máxima de la MTGasa es a los 55°C (Ramírez *et al.*, 2000c). La reacción catalizada por la enzima continuará hasta que ya no estén disponibles los sitios activos de las proteínas para ser utilizados como sustrato por la MTGasa o cambien las condiciones para la actividad de la enzima (Uresti *et al.*, 2003a).

Anteriormente, la MTGasa ha sido estudiada en un gran número de productos alimenticios reestructurados. Algunos de los diferentes estudios han reportado las condiciones óptimas de elaboración de diferentes productos cárnicos reestructurados de cerdo, ave y pescado con la adición de MTGasa. Aunque actualmente no existe información que relacione las condiciones óptimas de incubación y la concentración de MTGasa en la reestructuración de productos cárnicos de bovino. Por lo cual el presente estudio pretende generar información para los procesos de elaboración de productos cárnicos reestructurados de bovino.

El objetivo de la investigación fue el determinar las condiciones óptimas de incubación en la reestructuración cárnica de bovino, que permita disminuir la cantidad en la adición de la MTGasa obteniendo su máxima actividad, permitiendo la elaboración de productos cárnicos reestructurados de res (Roast Beef y Nugget) utilizando carne de la parte anterior de la canal. Lo cual permitirá la utilización de cortes cárnicos de bajo valor económico, proporcionándoles valor agregado, disminuyendo los costos de elaboración del producto e incrementando el rendimiento de la producción.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.1. Situación actual de la producción de carne en México

La ganadería y en específico, la producción de carne, es la actividad productiva más diseminada en todas las regiones agroecológicas del país (Ruiz *et al.*, 2001). La incorporación de tecnología prácticamente en todas las actividades productoras de carne, ha resultado en la disminución de los costos y aumentos de producción (Cavallotti y Palacio, 2003). Un factor importante en la producción de carne ha sido la apertura comercial, que se origina con el ingreso de México al GATT, ahora Organización Mundial de Comercio (OMC), y su complementación con los Tratados Comerciales dentro de los cuales sobresale el de América del Norte (TLCAN). El ingreso de México a un esquema de apertura, es un factor que han inducido la modernización de los sistemas productivos y el abasto de la población consumidora; sin embargo, las prácticas desleales en las importaciones mexicanas, han trastocado el intercambio comercial, dañando a la planta productiva del país (Ruiz *et al.*, 2001).

Durante la década de los setenta y los dos primeros años de los ochenta, la producción de cárnicos en México manifestó un crecimiento sostenido cercano al 12% anual. Sin embargo, en el periodo 1991-1995, la producción se contrajo hasta una tasa del 4% anual, (SAGARPA 2005). En 2003 la ganadería bovina mexicana produjo 1, 496,500 toneladas de carne, prácticamente 2.3% mas que el año previo. Con lo cual ha experimentado un crecimiento continuo en los últimos 10 años; sin embargo esta tasa de expansión ha sido mínima, presentando una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de solamente 2% (SAGARPA 2005).

A principio de los 90's la producción de carnes en México se componía en un 41% de bovino, 28% de porcino y 28% de pollo. A partir del 2003 dicha proporción se transformo radicalmente en 45% de carne de pollo, 31% carne de res y 22% carne de cerdo, manteniéndose el resto de las carnes en el orden del 2 y 3% (Figura 1) (SAGARPA 2005).

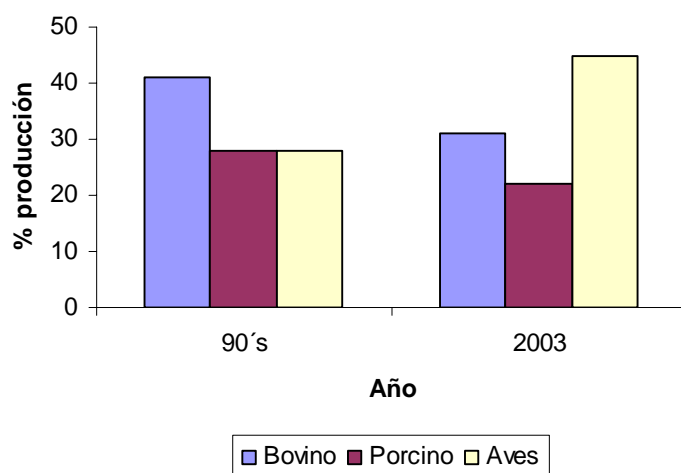


Figura 1. Evolución de la producción de carne por especie (SAGARPA 2005)

Los productos importados de menor precio están ocupando mercados que tradicionalmente eran abastecidos por la producción nacional. Los volúmenes de carne distribuidos y vendidos al consumidor final a través de las tiendas de autoservicio son cada vez mayores, especialmente en las grandes ciudades, aunado al aumento en el consumo de carne de pollo, con lo cual la industria cárnica de res sigue perdiendo niveles en el consumo nacional aparente según la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas (CNOG 2006). De acuerdo con estadísticas de la CNOG (2006), el consumo nacional aparente (CNA) de carne de res en el 2003 mostró en los últimos años un decremento del 7% (1,635,278 toneladas). La TMCA fue de 2.9% la cual fue considerada como adecuada, ya que fue superior a su propia tasa, pero inferior a la mostrada por sus dos principales competidoras, que son la carne de porcino con una TMCA de 3.8% y la de pollo de 8.1%. El CNA de carne de bovino no ha mantenido una tendencia específica en la última década, ya que ha mostrados crecimientos de hasta 13.8% en 1994 y decrementos como en el 2005 de 8.1% o el actual de 2.9% (SAGARPA 2006).

El diferente comportamiento de los precios de las tres principales carnes en canal consumidas en México, ha conllevado a que la de bovino pierda competitividad. Ante esta difícil situación, el sector pecuario requiere insumos, financiamientos, tasas de interés preferenciales, infraestructura de transporte y comercialización, homologación de normas sanitarias y desarrollo de nuevas formas de comercialización (Suarez-Domínguez y Tirado-Lopez, 2006).

2.2. Carne

La carne es definida como, la estructura estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo como huesos y grasa, además de fibras nerviosas, 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, se incluyen a las refrigeradas y congeladas (NOM-EM-006-SSA1-2002).

2.2.1. Proteínas musculares

Las proteínas desempeñan numerosas funciones en las células de todos los seres vivos. Forman parte de las estructuras básicas de los tejidos (músculos, tendones, piel, uñas, etc.), desempeñan funciones metabólicas y reguladoras (asimilación de nutrientes, transporte de oxígeno y de grasas en la sangre, inactivación de materiales tóxicos o peligrosos, etc.). También son los elementos que definen la identidad de cada ser vivo, ya que son la base de la estructura del código genético (ADN) y de los sistemas de reconocimiento de organismos extraños en el sistema inmunitario (Nakai y Li-Chan, 1998). Proteínas miofibrilares: Corresponde hasta el 65-75% del total de las proteínas del músculo. Las más importantes son la actina (principal componente de los filamentos delgados) y la miosina (principal componente de los filamentos gruesos).

- Actina. Equivale al 25% de las proteínas miofibrilares, la proteína es globular (contiene prolina) que se denomina actina G. Forma filamentos que se denominan actina F. 2 filamentos de actina F enrollados son la base de los filamentos delgados. 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).
- Miosina. Aproximadamente equivale al 50% de las proteínas miofibrilares, la molécula está compuesta por dos cadenas pesadas (cola) y cuatro cadenas ligeras (cabeza). La cabeza es la porción que permite la unión y separación con la actina, durante el fenómeno de la contracción. El punto isoelectrico de la miosina es de 5.3.

- Tropomiosina. Comprende entre el 8 y el 12% de las proteínas miofibrilares. Tiene estructura fibrilar.
- 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.
- Proteína C. Se encuentra en un 2% y al igual que otras muchas proteínas de alto peso molecular tienen una función estructural.
- Proteínas sarcoplásmicas. Corresponden 30-35% del total de proteínas, 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
- Proteínas del estroma. Proteína del tejido conectivo, en la carne forma las envolturas del tejido muscular (perimisio, endomisio y epimisio). La principal es el colágeno.

2.2.2 Gelificación de las proteínas

La gelificación de las proteínas es un proceso complejo que comienza con el desdoblamiento o desnaturalización de las mismas, favoreciendo la interacción proteína-proteína, originando una estructura tridimensional ordenada en la que se retiene agua, glóbulos de grasa, sales y otras sustancias de bajo peso molecular. Los principales geles encontrados en alimentos están compuestos por proteínas que gelifican con diferentes grados de elasticidad y rigidez (Badui, 2006).

El mecanismo de gelificación y la estructura del gel dependen de la naturaleza y concentración del polímero, sales, pH y temperatura. La formación de la red proteica se considera como un resultado del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína, proteína-disolvente, fuerzas atractivas y repulsivas entre cadenas polipeptídicas próximas. Las fuerzas de atracción se deben a las interacciones hidrófobas (acrecentadas a temperaturas elevadas), electroestáticas, (entre grupos cargados y otros divalentes), enlaces hidrógeno (desarrollados durante el enfriamiento) y/o las uniones disulfuro. La incidencia de cada tipo de interacción varía en función de la naturaleza de la proteína, condiciones del medio y etapas del proceso de gelificación (Badui, 2006). El mecanismo de la gelificación comprende tres etapas (Figura 2).

Solubilización: Se realiza con sales neutras. La sal actúa rompiendo los enlaces electrostáticos de los aminoácidos. Al adicionar una sal neutra, como el NaCl, los cationes (Na^+) y aniones (Cl^-) ya disociados en el agua del alimento, se asocian a los

grupos cargados de la proteína, desplazando las interacciones entre proteínas, lo que favorece la solubilización y dispersión de las diferentes fracciones proteínicas del músculo (Niwa, 1992).

Desnaturalización: Esta etapa involucra cambios conformacionales de la proteína (desdoblamiento), originados por la ruptura de enlaces electrostáticos y puentes de hidrógeno que estabilizan la estructura proteica, lo que permite la exposición de los grupos hidrófobos que generalmente se encuentran ocultos en el interior de la molécula de la proteína y que son considerados responsables de la agregación proteica a altas temperaturas (Niwa, 1992).

Agregación: Es la etapa final que permite la obtención de un gel, involucra la formación de una estructura tridimensional, que es estabilizada fuertemente por las siguientes interacciones moleculares:

- Interacciones hidrofóbicas entre radicales no polares.
- Enlaces disulfuro formados por grupos sulfhidrilos de la cisteína.
- Interacciones electrostáticas entre aminoácidos con carga iónica.
- Puentes de hidrógeno.
- Enlaces covalentes no disulfuro.

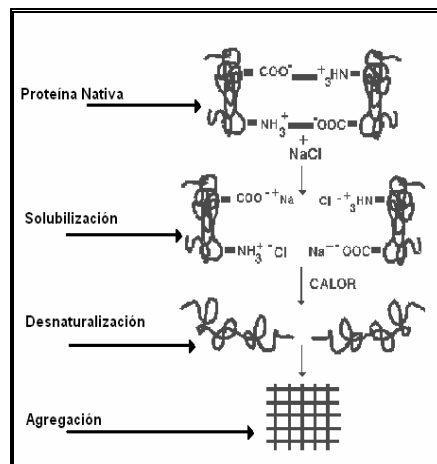


Figura 2. Proceso de gelificación de las proteínas miofibrilares (Ramirez, 1996).

Las interacciones electrostáticas y los puentes de hidrógeno son térmicamente inestables, por lo que se considera que su intervención es mínima en la formación de las redes tridimensionales durante el calentamiento; sin embargo tienen un papel importante

en el enfriamiento, confiriendo tanto fuerza de gel como capacidad de retención de agua (Niwa, 1992). Las interacciones hidrofóbicas y enlaces disulfuro son termoestables, por lo que se consideran responsables de la formación de la red que estabiliza la estructura del gel durante la cocción. Los enlaces covalentes no disulfuro se presentan al parecer sólo en geles de pescado que se obtienen a temperaturas de 0-40 °C, fenómeno llamado *suwari* o *setting* (Kamath *et al.*, 1992).

2.3. Actualidad alimentaria

En la actualidad, las características de los alimentos no están basadas únicamente en la cantidad de nutrimentos que aportan al ser ingeridos o a las características sensoriales que presentan. Ya que la sociedad busca alimentos, no solamente nutritivos, de buen sabor, de aspecto apetecible y buen aroma, sino que hay que agregar que sean de fácil preparación o listos para su consumo, baratos, con amplia vida de anaquel y que sean inocuos (Alan y Jane 1995).

Indudablemente, los cambios que presenta nuestra sociedad en vías de globalización repercuten directamente en los hábitos alimenticios. El concepto de salud que tiene el consumidor, y el conocimiento básico de la tecnología de alimentos (entre otros), influyen en la elección, compra de los alimentos y formación de nuevos consumidores. Los consumidores demandan conocer los alimentos, de donde provienen, cómo se producen y la seguridad al consumirlos. Por lo cual, la industria cárnica deberá de utilizar no solamente tecnología bien conocida actualmente, sino que tendrá que comenzar con investigaciones para su correcto uso. Como es el caso de algunas enzimas, las cuales hoy en día ocupan un lugar importante dentro de la producción de todo tipo de alimentos (renina, papaína, lipasa, tripsina entre muchas otras). Pero existen algunas otras enzimas, a las cuales todavía no se les han explotado todas sus ventajas, como es el caso de la Transglutaminasa (TGasa) (Hie-Jong y Hyo, 1999). Esta es una enzima utilizada como aditivo en la reestructuración de alimentos proteicos, ya que cataliza la polimerización y entrecruzamiento intra e intermolecular de proteína-proteína, proteína-aminoácido y la hidrólisis de residuos glutámicos en proteínas, esto por medio de uniones covalentes principalmente de Glutamina-Lisina (Cozzolino *et al.*, 2003).

Estimaciones del Fondo para la Promoción de la carne Mexicana FOMECARNE, (2006) la principal forma de comercialización de la carne de bovino es en carnicerías o tiendas de autoservicio en las cuales se distribuyen cortes de carne populares como;

diezmillo, espaldilla, costilla, aldilla (falda), entre otros, o mediante cortes de carne para plato en cadenas de restaurantes de lujo o para un mercado exclusivo. En estos se venden los cortes de mayor valor económico y productos de alta calidad como el Rib Eye, T-Bone, New York. Dejando a los cortes de carne obtenidos de la parte anterior de la canal como; el brazuelo, chambarete y pecho como cortes cárnicos de menor valor monetario y de esta manera se reduce el rendimiento de la canal desde el punto de vista económico (Domingez, 1995). En la actualidad, los productos cárnicos procesados son elaborados principalmente a base de carnes de cerdo y ave, como por ejemplo; salchichas, patés, jamones y tocino entre otros (Alan y Jane 1995). La carne de res encuentra un rango muy limitado en el mercado de productos cárnicos, comercializándose principalmente como carne fresca, carne marinada, carne seca, cecina, salami y pastel de carne, entre otros. Se entiende por producto cárnico aquellos productos compuestos total o parcialmente por carnes, despojos o grasas y que pueden incorporar otros ingredientes de origen animal o de origen vegetal (soya, harinas, féculas, etc.) y que además incorporan aditivos para su estabilidad o para conseguir las características deseadas del producto. (NOM 158-SCFI-2003). El objetivo de la elaboración de productos cárnicos, es principalmente aumentar la vida útil de la carne, aunque en la actualidad esto es complejo, ya que intervienen muchos factores, los cuales comprenden desde las características sensoriales del alimento hasta la mercadotecnia (Marcus & Lund, 2003).

2.3.1. Alimentos reestructurados

En la actualidad, la industria transformadora de productos cárnicos de bovino, se enfrenta a nuevos mercados, más competitivos y globalizados. La disminución del poder adquisitivo y del CNA de productos cárnicos de bovino son problemas añadidos, sin olvidar las nuevas exigencias de un mercado cada vez más diversificado y la demanda de productos naturales, novedosos, de fácil preparación y aspecto atractivo. Buscando satisfacer estas exigencias, es notable la necesidad de desarrollar nuevos productos cárnicos, los cuales puedan irrumpir en el mercado nacional (CNOG 2006).

El proceso de reestructuración de alimentos ha tomado mucha importancia. Entre estos productos tienen especial relevancia los alimentos reestructurados, como el surimi, y productos derivados de pollo, cerdo, res, entre otros (Uresti *et al.*, 2004). Muchos de estos productos se comercializan congelados, enlatados, salados etc., pero cada vez es

mayor la demanda de productos procesados como jamones, salchichas, hamburguesas, nugget reestructurados.

La reestructuración es un proceso que permite utilizar carne o recortes, que por su volumen, composición fisicoquímica, posición anatómica y textura, no es adecuada para la elaboración de productos de alta calidad gastronómica y alto valor económico. La estructura básica en la reestructuración de productos cárnicos se basa en la formación de una matriz proteica mediante la gelificación de las proteínas presentes en la carne. Este gel se forma por tratamiento térmico, con la adición o no de aditivos. Pero con la adición de estos productos se mejora la solubilidad y unión entre proteínas presentes en la carne, permitiendo la elaboración de muchos alimentos tipo o reestructurados que dan un valor agregado a los cortes de carne de menor valor económico (Casp y Requena, 2003; Pietrazik y Shand, 2003).

El proceso de reestructuración se basa en la demanda creciente de productos cárnicos de diferentes especies, listos para consumo o de rápida cocción, en porciones individuales y con menor contenido de grasa y sal que los productos habituales. Como 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 la producción (Uresti *et al.*, 2004). Esto sin olvidar que el uso de esta tecnología no reemplaza a la carne obtenida de piezas completas, de alta calidad gastronómica y alto valor económico, sino que es un medio para expandir el mercado de los productos cárnicos de res proporcionándole valor agregado y una alternativa de utilización de cortes de bajo valor económico (Jiménez *et al.*, 2005).

Existen diferentes métodos de reestructuración de productos cárnicos (pescado, res, pollo, etc.). Convencionalmente dichos métodos, se realizan con la utilización de diferentes aditivos, como son sales, gomas, hidrocoloides, enzimas, encontrando resultados no muy satisfactorios en las características de los productos elaborados. Pero con las recientes investigaciones de una enzima llamada Transglutaminasa, se pueden utilizar nuevos sistemas de reestructuración en diferentes condiciones, abriendo la posibilidad a los alimentos crudos o procesados. (Jimenez *et al.*, 2005)

2.4. Transglutaminasa

La transglutaminasa o TGasa es una enzima que cataliza reacciones de transferencia de acyl entre proteínas, en la que los residuos glutámicos 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 (Motoki y Nio, 1983) Figura 3. La reacción dominante de este enzima, es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular. 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 desamidación de las glutaminas (Kuraishi *et al.*, 2001).

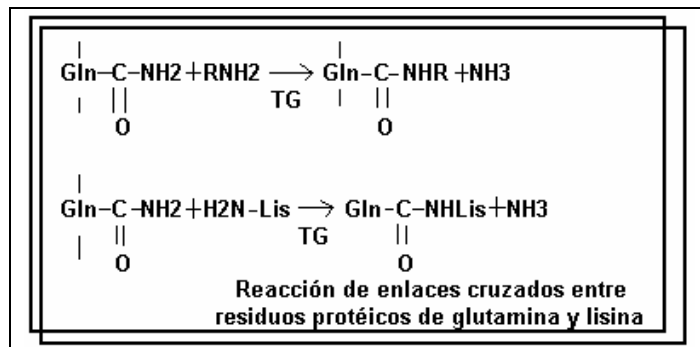
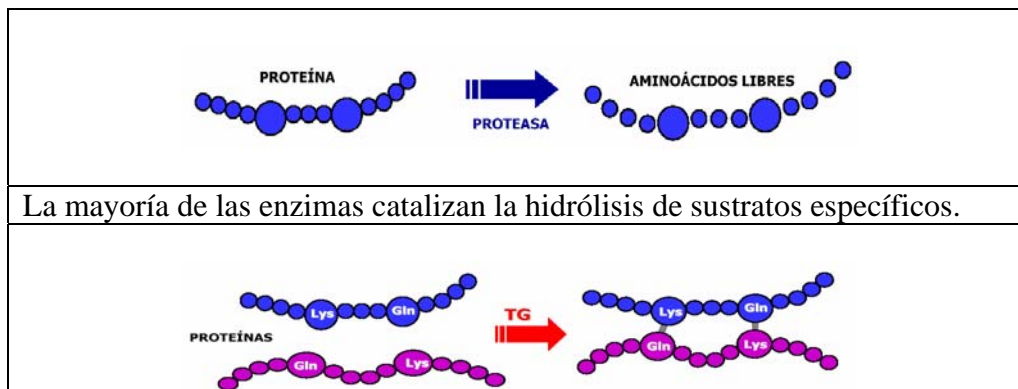


Figura 3. Reacción catalizada por la transglutaminasa de acyl transferencia y de unión entre la Gln-Lis (Ramirez 1996)

La International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) y la International Union of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB) rigen una comisión llamada Enzyme Commission, clasifica a la transglutaminasa EC.2.3.2.13 (Uresti *et al.*, 2004).

A diferencia de las enzimas que encontramos actualmente en el mercado, como las amilasas, tripsinas, proteasas, etc., que promueven la hidrólisis de las proteínas, la Transglutaminasa cataliza la polimerización y la unión cruzada o entrecruzamiento de proteínas, a lo cual se le llama en inglés cross-linking (Figura 4).



La Transglutaminasa cataliza la polimerización de las proteínas.

Figura 4. Muestra la diferencia en el funcionamiento de la Transglutaminasa con otras enzimas (Ajinomoto 2005).

La transglutaminasa es activa en un rango de pH entre 5 – 9, por lo que puede ser utilizada en varios procesos alimentarios. También es activa 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 (Payne, 2000) Figura 5.

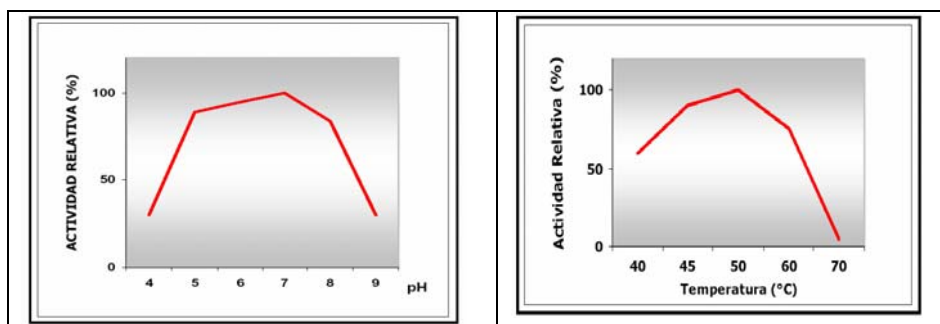


Figura 5. Condiciones óptimas de pH y temperatura para la completa actividad de la transglutaminasa (Ajinomoto 2005).

Existen dos tipos de transglutaminasa, dependiendo de la fuente de obtención, la transglutaminasa endógena (TGasa) y transglutaminasa microbiana (MTGasa).

2.4.1. Transglutaminasa endógena (TGasa)

La TGasa es una enzima ampliamente distribuida en los organismos vivos. Se encuentra en plantas formando el citoesqueleto y es parte de la pared celular (Tellez-Luis et al., 2004b). En los eritrocitos une las proteínas durante el ensamble de la pared celular. En el plasma de los mamíferos cataliza el entrecruzamiento de las moléculas de fibrina durante la coagulación de la sangre (Jong y Koppelman, 2002). Esta última es conocida como el factor XIIIa (en la cascada de coagulación), ayudando a estabilizar el sangrado formando moléculas de fibrina (Jong y Koppelman, 2002). Anteriormente la enzima era extraída y purificada de tejido y fluidos corporales del cerdo de guinea, posteriormente del suero de animales destinados para el consumo humano como los bovinos, ovinos y cerdos, aunque también se utiliza tejidos de pescados y moluscos para su obtención (Dondero *et al.*, 2006). Según An *et al.*, (1996) la TGasa endógena es la

responsable del fenómeno del setting (Union) en la elaboración del “suwari” ya que cataliza la unión o entrecruzamiento de las proteínas cárnicas de pescado. La TGasa obtenida de mamíferos presenta algunas limitantes, necesita la presencia de iones calcio como cofactor. La TGasa (factor XIIIa) se encuentra como una pro-enzima en forma activa (trombina) la cual esta disponible durante el inicio de la cadena de reacciones de la cascada de coagulación. En los alimentos que no contienen iones calcio, es necesaria la adición de estos, lo que en algunos casos resulta en la formación de complejos calcio-proteína. Otra limitante es que la TGasa de los mamíferos confiere un color rojizo a los alimentos, lo cual disminuye su calidad sensorial.

Otra opción para la obtención de la enzima bajo diferentes procesos de manipulación genética de microorganismos, como de *Escherichia coli*, *Bacillus*, *Aspergillus* etc. obteniendo grandes cantidades y a un precio mucho menor es la transglutaminasa microbiana (Motoki y Seguro, 1998). La estructura cristalina de los sitios activos de la enzima, demuestran que la estructura cuaternaria de la TGasa y la MTGasa es totalmente distinta, pero debido a su similitud en su estructura secundaria las dos transglutaminasas comparten similitudes funcionales (Motoki y Seguro, 1998).

2.4.2. Transglutaminasa microbiana

La producción de transglutaminasa microbiana o MTGasa a partir de microorganismos, se desarrolló cuando Ando *et al.*, (1989) investigaron 5000 cepas aisladas de suelos de varios lugares. Entre los cultivos que se ha encontrado que producen esta enzima extracelular destacan los géneros de *Streptoverticillium* sp. y *Streptomyces* sp. (Tellez-Luis *et al.*, 2004a; Zhu *et al.*, 1995)

La MTGasa obtenida a partir del género *Streptoverticillium spp* presenta una actividad mayor que la TGasa según los análisis cuantitativos realizados del entrecruzamiento de la caseína. Tellez-Luis *et al.*, (2004b) mencionaron las ventajas de obtener MTGasa a partir del género *Streptoverticillium ladakanaum* por medio de fermentaciones de paja de sorgo.

La MTGasa es una proteína monomérica, en su estructura primaria esta compuesta por 331 aminoácidos, en donde la cisteína es su principal sitio activo (Figura 6). El punto isoeléctrico de la MTGasa es aproximadamente de 8.9, su peso molecular es de 40 kDa, tiene una alta estabilidad (Payne, 2000).

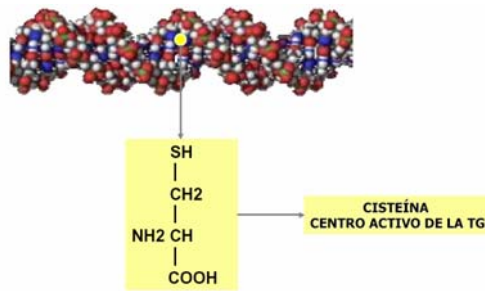


Figura 6. Estructura primaria de la TGasa, cadena simple de polipéptidos, compuesta por 331 aminoácidos (Ajinomoto 2005).

La MTGasa tiene la capacidad de incorporar aminoácidos o péptidos covalentes en las proteínas, esta reacción aumenta el valor nutritivo de las proteínas en los alimentos. Por lo tanto, las proteínas no cárnicas que presenten metionina y lisina en su estructura podrán ser unidas a las proteínas del alimento ya sea carne de bovino, pescado o ave, aumentando el valor nutritivo de los alimentos (Jong y Koppelman, 2002).

En la aplicación práctica, todos los aminoácidos, excepto la lisina, pueden tener un grupo α -carboxilo. Aunque la lisina por si sola es el mejor sustrato para la MTGasa porque tiene un grupo ϵ -amino en su amina primaria. La lisina contiene péptidos que actúan como acyl aceptores y en ocasiones como acyl donadores. Los péptidos de glutamina actúan principalmente como acyl donador, pero en ocasiones se presenta como acyl receptor (Jong y Koppelman, 2002).

Para que se lleve a cabo la unión entre proteína-proteína, se necesita una exposición suficiente de los residuos de glutamina y lisina (G-L) de las proteínas. Las proteínas cárnicas y otras como la caseína o proteína de soya son fácilmente entrecruzadas por la MTGasa, debido a su amplia disponibilidad de lisinas y glutaminas presentes en sus proteínas. En contraste muchas otras proteínas de los alimentos tienen estructuras más rígidas que evitan la unión (Ramírez *et al.*, 2003).

Sakamoto *et al.*, (1995) estudiaron la presencia de la unión de la G-L en los alimentos, con la finalidad de determinar la digestibilidad de la nueva proteína catalizada por la MTGasa, encontrando que normalmente la unión de G-L en las proteínas es común tanto en alimentos crudos, como cocidos sin la utilización de la enzima. Por lo tanto la agregación de aminoácidos, péptidos y proteínas con unión G-L es altamente metabolizable. (Motoki & Seguro, 1998; Jong y Koppelman, 2002)

El cross-linking de las proteínas, lleva a la formación de dímeros, trímeros y grandes polímeros de proteínas, sin ninguna interfase Figura 7. La reacción de entrecruzamiento continuará hasta que ya no estén disponibles la glutamina y la lisina

para la MTGasa o cambien las condiciones para la actividad de la enzima (Uresti *et al.*, 2003a).

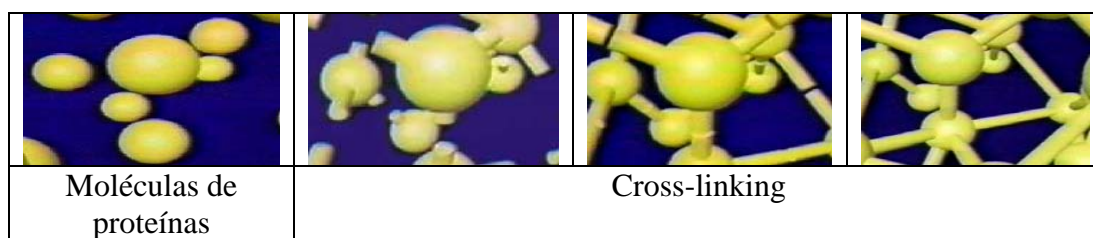


Figura 7. Formación de las redes tridimensionales entre proteínas por la acción de la MTGasa (Ajinomoto 2005).

La formación de un gel, es uno de los principales efectos de la unión de las proteínas por actividad de la MTGasa. La gelificación de las soluciones de proteína se ha realizado con caseína (Sakamoto *et al.*, 1995), 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 (Ramírez-Suárez *et al.*, 2003). Por lo tanto, la utilización de la MTGasa en la elaboración de gelatina no es recomendable, aunque es usada en muchos productos alimenticios por sus características de gelificación reversible.

2.4.3. Aplicación de la MTGasa en los 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 por fermentación. La TGasa requiere iones calcio para su funcionamiento, mientras que la MTGasa no los requiere. Por tanto, esta última 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 protéico. Su principal mecanismo de acción se debe a que cataliza la polimerización y entrecruzamiento intra e intermolecular de proteína-proteína, proteína-aminoácido y la hidrólisis de residuos glutámicos en proteínas, esto por medio de uniones covalentes principalmente de Glutamina-lisina (Cozzolino *et al.*, 2003). La MTGasa puede unir aminoácidos mediante enlaces covalentes con la proteína previniendo la destrucción de aminoácidos,

mejora la flexibilidad y textura de los alimentos ya que cataliza la unión intra e intermolecular de las proteínas (Zhu *et al.*, 1995). Al no tener características sensoriales apreciables, no repercute directamente en el sabor, color u olor de los alimentos pero si modifica favorablemente las propiedades (textura cohesión y reestructuración) de los productos (Hie-Jong y Hyo, 1999). La MTGasa no se encuentra enlistada en el Codex Alimentarius; sin embargo, se puede tomar como referencia al USDA, donde se permite el uso de la enzima como aditivo alimentario desde octubre del 2000.

2.4.4. MTGasa en productos cárnicos

La reestructuración cárnica inicialmente se hacia en frío, con la adición directa de la enzima sobre la carne, con buenos resultados. Posteriormente, utilizaron la MTGasa con caseinato, con lo cual se encontraron mejores resultados en el proceso de reestructuración de la carne, pudiendose reestructurar grandes piezas de carne de bovino, cerdo etc. En la actualidad, durante la elaboración de alimentos cocidos la acción de la MTGasa ocurre durante el proceso de cocción, sin embargo durante esta etapa es cuando se alcanzan los 70° C y la MTGasa es inactivada.

Cuando la MTGasa se usa en concentraciones altas, produce una textura demasiado firme, lo cual es generalmente desfavorable. Controlando la cantidad de enzima, el tiempo de reacción y la temperatura se obtiene la textura deseada (Ramirez *et al.*, 2003). En el caso de los jamones cocidos, el efecto de la MTGasa se ve reflejado no solo en el mejoramiento de la calidad de textura, sino también en el mejoramiento del rebanado. Con la adición de la MTGasa se observo una disminución en la pérdida por cocción y en la rotura de las rodajas del jamón, cuando éstas son rebanadas muy delgadas (Motoki & Seguro, 1998).

Otra aplicación de la MTGasa es en la preparación de alimentos saludables, especialmente productos cárnicos con baja concentración de sales y/o fosfatos (Jimenez *et al.*, 2005). Sin embargo, la textura y las propiedades físicas de estos alimentos “saludables” con bajo contenido en sal, está por debajo de los estándares de calidad. Cuando se usa MTGasa se puede obtener una mejor textura en los productos con bajo contenido en sal y fosfatos (Kuraishi *et al.*, 1997). Dentro de la elaboración de productos preparados, Jimenez *et al.*, (2005) estudiaron, el uso de la MTGasa en la elaboración de alimentos funcionales, en donde se desarrolló un alimento bajo en sal (cloruro de sodio) remplazado por cloruro de potasio y fibra.

2.5. Carragenina

Un aditivo hidrocoloide ampliamente utilizado en la industria alimentaria es la carragenina (Figura 8). Se encuentra en las paredes celulares de algunas algas de familias de *Rhodophyceae* (algas rojas) y *Chondrus crispus* (musgo irlandés), estas algas son pequeñas y de aguas frías, distribuidas en las costas del Atlántico Norte. Existen tres tipos importantes de carrageninas, designadas cada una de ellas mediante una letra griega, kappa (κ), lambda (λ) y iota (ι) (Trius y Sebranek, 1996).

La carragenina se obtuvo por primera vez en forma pura en 1844, mediante extracción en medios alcalinos y precipitación con alcohol, sistema que entre otros, aún se utiliza. En la Unión Europea le corresponde el código de aditivo alimentario E-407. (CODEX).



Figura 8. Foto del *Chondrus crispus* en su estado natural (Tabacchi y Garcia 1994).

El Alga *Chondrus crispus* produce una carragenina, la cual es una mezcla de dos carrageninas (kappa e iota). El alga *Euchema spinosum* produce un tipo de carragenina en el que predomina el tipo iota, lo mismo que *E. isiforme* y *E. uncinatum*. Las algas *Euchema cottonii*, *E. striatum*, *E. procrusteanum*, *E. procrusteanum* y *E. speciosum* producen una carragenina en el que predomina el tipo kappa (Onsoyen, 1992).

Las carragenina está constituida por unidades de galactosa y de anhidrogalaactosa, sulfatadas o no, unidas por enlaces alternos α (1-3) y β (1-4). El peso molecular es normalmente de 300.000 a 400.000. La longitud de la cadena es importante, ya que por debajo de 100.000 de peso molecular la carragenina no es útil como gelificante. Dependiendo de las posiciones de los grupos sulfato y de la presencia de grupos de anhidrogalaactosa se distinguen varios tipos de carragenina, con propiedades como hidrocoloides claramente distintas. A mayor proporción de grupos sulfato, la solubilidad es mayor, y a mayor proporción de grupos de anhidrogalaactosa la

solubilidad es menor (Yuguchi *et al.*, 2002). Aunque existen alrededor de una docena de tipos, los más importantes son las carrageninas κ , ι y λ (Therkelsen, 1993).

- La carragenina κ está formada por unidades alternas de galactosa con un grupo sulfato en el carbono 4 y unidades de anhidrogalactosa sin sulfatar.
- La carragenina ι está formada por unidades alternas de galactosa con un grupo sulfato en el carbono 4 y de anhidrogalactosa con un grupo sulfato en el carbono 2.
- La carragenina λ está formado por unidades alternas de galactosa con un grupo sulfato en el carbono 2 y de anhidrogalactosa con dos grupos sulfato, uno en el carbono 2 y otro en el carbono 6

Tanto la κ -carragenina como la ι -carragenina son capaces de formar geles. A temperaturas elevadas, las cadenas se encuentran desenrolladas y dispuestas al azar. Al disminuir la temperatura, las cadenas de polisacárido se asocian por puentes de hidrógeno formando hélices dobles quedando hacia el exterior los grupos sulfato y los puentes de la anhidrogalactosa. Estas interacciones no suelen ser suficientes para formar un gel, ya que las cargas de los grupos sulfato hace que las hélices se repelan (Tabacchi y Garcia 1994).

Las propiedades reológicas, y especialmente la capacidad de formación de geles, varía mucho dependiendo del tipo de carragenina (Paula y John. 1999). La λ - carragenina, es la que tiene mayor contenido de sulfato y consecuentemente mayor carga negativa y por lo tanto no es capaz de formar geles por si misma. La κ - carragenina, por el contrario, forma geles rígidos y quebradizos, semejantes a los del agar, en presencia de iones potasio, estos son más opacos que los de agar, 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. Las propiedades de estos geles mejoran mucho si se forman en presencia de goma de algarroba, al asociarse las hélices de la κ -carragenina con las regiones no ramificadas de la goma. La κ -carragenina se utiliza en concentraciones entre el 0,02 % y el 2%. (NOM-158-SCFI-2003).

2.6. Factores de calidad de los productos cárnicos

Se define a la calidad como el conjunto de distintos factores que están relacionados con la aceptabilidad del alimento. Dentro de estos factores encontramos; factores sensoriales, reológicos, económicos etc. Cada uno de ellos, tiene gran importancia en la impresión y aceptación de un alimento (Potter y Hotchkiss, 1999).

2.6.1. Textura de los alimentos

La palabra textura deriva del latín *textura* que significa tejido. Pero se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptible por medio de receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos; además al incorpora todos los atributos geométricos, mecánicos y superficiales (Andrew, 2001). Características como las audiovisuales, el tacto, los movimientos, la piel, paladar, lengua etc. están asociados a la percepción de ciertos atributos (Andrew, 2001). La percepción humana de la textura de los alimentos se describe como, un proceso cíclico que comienza 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 (Bourne, 1982).

2.6.1.1. Atributos de textura

Los atributos de textura son aquellos que se asocian a su particular naturaleza (suavidad, aspereza, granulosis, endurecimiento, etc.), a su consistencia (cremosidad, humectación, etc.) y adhesión al paladar (adhesividad, etc.) (Andrew, 2001). La identificación de las características mecánicas depende de la manera en que el alimento reacciona a la aplicación de un esfuerzo. De acuerdo a Szczesniak, (1963) éstas son medidas sensoriales, dadas por la presión ejercida al comer, en los dientes, la lengua y el paladar.

Cuando los dientes hacen contacto por primera vez con el alimento (fase de la primera mordida), las características mecánicas de dureza (firmeza), fragilidad y viscosidad son identificadas junto con ciertas características geométricas. Durante la masticación (fase masticatoria) las propiedades mecánicas identificadas incluyen la gomosis, masticabilidad y adhesividad. Además, se identifican ciertas características geométricas. La fase residual de identificación está basada en cambios en las características mecánicas y geométricas que ocurren durante la masticación, las cuales incluyen la tasa a la que ocurre la destrucción del alimento, el tipo de destrucción, la

naturaleza del recubrimiento dejado en la boca, etc (Bourne, 1982). Szczesniak (1963) menciona que las características mecánicas, influyen sobre el comportamiento del alimento en la boca, son básicamente cinco los parámetros involucrados:

- Dureza: 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 como “*parámetros secundarios*” (Andrew, 2001):

- Fragilidad: Fuerza con que un material se fractura.
- Masticabilidad: energía necesaria para masticar un alimento sólido a un estado listo para deglutir.
- Gomosidad: energía requerida para desintegrar un alimento semi-sólido a un estado listo para deglutir.

El Cuadro 1 muestra la interrelación entre la clasificación de las características de textura y términos usados por el consumidor para definirlas.

Cuadro 1. Interrelación entre las definiciones sensoriales de las características mecánicas y términos descriptivos comúnmente usados.

Propiedades Primarias	Términos descriptivos
Dureza	Suave, firme, duro

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

Las propiedades reológicas de los alimentos varían ampliamente, desde líquidos diluidos, como agua, vino etc. a productos sólidos como galletas y caramelos. La reología estudia la relación entre fuerzas ejercidas sobre un material y la deformación resultante como una función del tiempo. Para corregir las variaciones del tamaño y forma de los materiales, las fuerzas se recalculan referidas a la fuerza por unidades de área y la deformación se debe de tomar relativa a la longitud del material (Andrew, 2001).

2.6.1.2. Métodos instrumentales en la medición de textura.

Existen dispositivos de pruebas instrumentales con sus respectivos traductores, para convertir materiales y medidas físicas, en señales visuales y eléctricas observadas directamente en equipos con procesamiento de los datos. La instrumentación depende del tipo de prueba a realizar, pero para las pruebas mecánicas con frecuencia se involucran evaluaciones de deformación y celdas cargadas para medir fuerzas y posiciones o movimientos de detectores (Andrew, 2001). Las pruebas se realizan en materiales sólidos y viscoelásticos, bajo compresión, corte, torsión o tensión. La habilidad de una prueba instrumental para predecir con precisión la evaluación sensorial de una característica de textura en particular, solo se puede establecer comparando datos de evaluación obtenidos por ambos métodos. Existen tres técnicas instrumentales para medir la textura de los alimentos; pruebas empíricas, fundamentales e imitativas. En las pruebas imitativas, la máquina es instrumentada para proporcionar medidas de esfuerzo y/o deformación durante la secuencia de la prueba. Algunas pruebas simulan la

dentadura humana, imitando el movimiento de la mandíbula. Mientras otras contienen una celda de prueba con una geometría similar a la de la boca humana, adquiriendo datos de la máquina que dependen de otros factores como el tipo y función de los sensores y el movimiento relativo de la mandíbula. Algunos de los problemas relacionados en la evaluación instrumental de las características de textura de los alimentos sólidos, entre muchos otros, son (Anton & Luciano, 2007):

- La velocidad del ensayo. La mayoría de las pruebas de compresión han involucrado tasas de compresión lentas, es decir, bajas velocidades del cabezal (0.2-5 cm/min-1). Sin embargo, la tasa normal de compresión aplicada durante la masticación corresponden a velocidades mayores. Aunque son deseables altas velocidades de compresión, no todos los alimentos son masticados de la misma forma.

- Tamaño y forma de la muestra. Estos parámetros afectan el comportamiento de las curvas de fuerza de compresión. En ciertos alimentos se encontró que la compresión es directamente proporcional a la altura de la muestra e inversamente proporcional al área transversal.

- La Temperatura de la muestra. Es un factor predominante en el comportamiento reológico de los alimentos.

2.6.2. 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, cuya longitud de onda está comprendida entre 370 y los 730 nm. 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) (MiniScan XEplus 2000). 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 (MiniScan XEplus 2000).

Matiz. Es la forma de percibir el color de un objeto: amarillo, rojo, verde, azul, etc. En la Figura 10 se muestra un anillo con los colores continuos de un matiz al

siguiente y se puede percibir la combinación de un matiz con otro (MiniScan XEplus 2000).

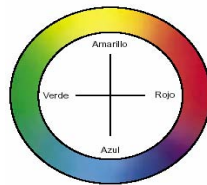


Figura 10. Anillo de matiz, el anillo describe los cambios de matiz, en sentido a las manecillas del reloj, de verde a amarillo, etc

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, la Figura 11 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) (MiniScan XEplus 2000).

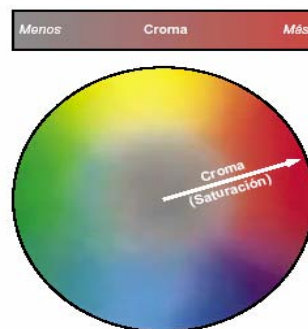


Figura 11. Tabla de cromaticidad, muestra la saturación del color de acuerdo a la directriz del centro a la periferia.

Luminosidad. Llamada también valor, por 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 12 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) (MiniScan XEplus 2000).

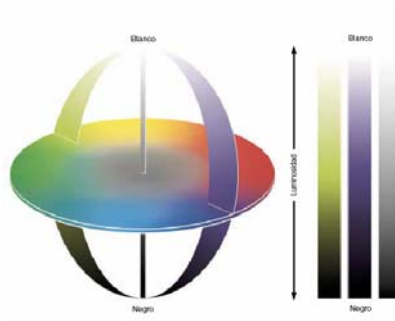


Figura 12. Escala de luminosidad, representa el grado de claridad de un color en el eje vertical que va desde blanco a negro

En 1905 el artista Albert H. Munsell dio origen al Sistema de Notación de Color Munsell, el cual asigna valores numéricos a las tres propiedades del color: Matiz, Luminosidad y Croma. La CIE o Comisión Internationale de l'Eclairage, estandarizó los sistemas de orden de color especificando las fuentes de luz, el observador y la metodología usada para encontrar los valores para describir el color. Se utilizan 3 coordenadas para ubicar un color en un espacio de color.

2.6.2.1. CIELAB (L^* , a^* , b^*)

Cuando un color se expresa en CIELAB, la L^* define la claridad, a^* denota el valor rojo/verde y b^* el valor amarillo/azul. La Figura 13, muestran el diagrama de graficación de color para $L^*a^*b^*$. 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.

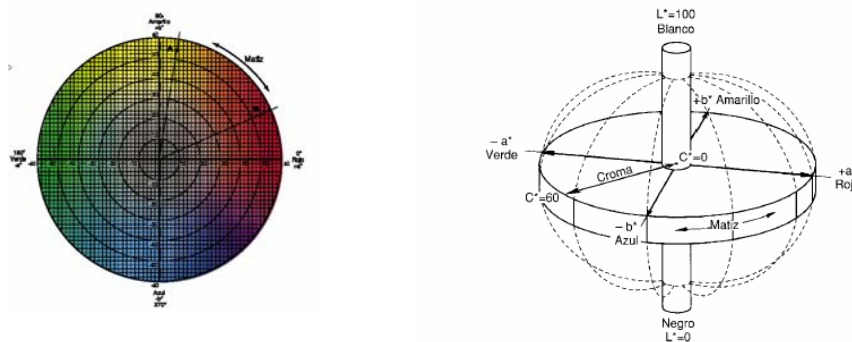


Figura 13. Graficas de color CIELAB.

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 (MiniScan XEplus 2000).

2.6.3. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) es la propiedad que tienen las proteínas a hidratarse mediante sus aminoácidos hidrófilos y retienen una cantidad de agua que está en equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente; a esta propiedad se le llama capacidad de retención de agua (Badui, 2006). También se refiere a la habilidad de una proteína a absorber y retener moléculas de agua a pesar de la gravedad. Esta incluye agua ligada, hidrodinámica, capilar y la físicamente atrapada. El agua físicamente atrapada representa la fracción más grande en los alimentos (Damoradan y Parraf, 1997). Al colocar la molécula hidratada en contacto 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 (Badui, 2006).

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 las 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. Para las proteínas miofibrilares se favorece el aumento de absorción y retención de agua (especialmente durante la cocción) cuando hay presencia de cloruro de sodio (3 a 8 %, 0.5 a 1.5 M), esto puede entenderse por la fijación de iones y la apertura de la red proteica. También favorecen esta propiedad los polifosfatos de sodio con una concentración cercana a 0.3% (Badui, 2006).

2.6.4. Análisis sensorial

La evaluación sensorial de los alimentos constituye en la actualidad una de las herramientas más importantes en el control de calidad y de proceso, en el diseño y desarrollo de nuevos productos y en la estrategia del lanzamiento de los mismos al comercio. Estas características, la hacen copartícipe del desarrollo y avance mundial de la alimentación. Como disciplina científica es utilizada para medir, analizar e interpretar las sensaciones producidas por las propiedades sensoriales de los alimentos y otros materiales, y que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Ureña *et al.*, 1999). La aplicación de la evaluación sensorial en la industria alimentaria se aplica en: el desarrollo de nuevos productos, la comparación, clasificación y mejoramiento de productos; la evaluación del proceso de producción; la reducción de costos y/o la elección de un nuevo proveedor, el control de calidad; el estudio de la estabilidad de un alimento durante su almacenaje, determinación de la aceptación, preferencias y gustos del consumidor y en la correlación de las medidas sensoriales con las obtenidas por los métodos fisicoquímicos (Ureña *et al.*, 1999). Existen diferentes tipos de análisis sensorial, los cuales estarán enfocados a proporcionar una respuesta en particular. Pueden clasificarse según el objetivo de trabajo en: análisis orientados al producto y análisis orientados al consumidor. Los análisis orientados al producto permiten hacer inferencias sobre las características de la población de alimentos que se analizan. Estos son discriminativos y descriptivos. Los análisis orientados al consumidor permiten estimar la capacidad analítica sensorial de un juez o, en su caso, hacer inferencias sobre una población de posibles consumidores del producto. Estos son: discriminativos y afectivos (Ureña *et al.*, 1999).

2.6.4.1. Análisis afectivos

Estos análisis son empleados en la evaluación sensorial de los alimentos para conocer la aceptabilidad de estos por parte del consumidor, así como también sus preferencias de consumo. En ambos casos, se buscan medir estos criterios a partir de datos obtenidos de una muestra poblacional representativa de un lote, que por consideraciones de idiosincrasia de consumo, cultural, nivel económico, lugar de residencia, etc., tienden a coincidir muchas veces en “gustos”, “apetencias”, “vicios” e intereses (Pedrero y Pangborn, 1986).

El placer, la complacencia, satisfacción, el grado de gusto o disgusto, el agrado o desagrado, como todo aquello que conlleve a la elección de un alimento sobre los demás, pueden ser objeto de estudio a través de análisis afectivos de preferencia. Para determinar el grado de satisfacción de los consumidores en respuesta a la medida de cómo cumple el alimento evaluado con sus requerimientos o expectativas, se hace uso de escalas de categorización adimensionadas o dimensionadas relativas, aplicadas en análisis como el de apreciación hedónica y el de actitud (Anzaldúa-Morales, 1992). Este análisis promovido por la ASTM (1972), es usado para medir a que nivel de placer se es capaz de llegar y manifestar el consumir de un determinado alimento, lo que se determina a partir de la apreciación de cómo agrada o desagrada éste a una muestra poblacional de potenciales consumidores. Análisis como los de Categorización Cualitativa o Cuantitativa Relativa son utilizados para determinar la apreciación hedónica de una población (Meilgard *et al.*, 1991).

3. HIPÓTESIS

La adición de MTGasa en condiciones óptimas de incubación durante la reestructuración, promueve la máxima actividad enzimática, disminuyendo las concentraciones de enzima, permitiendo elaborar productos tipo o reestructurados a base de carne de bajo valor económico de bovino.

4. OBJETIVOS

Determinar las condiciones óptimas de incubación, promoviendo la máxima actividad y disminución de MTGasa durante la reestructuración, para la elaboración de productos cárnicos reestructurados de bovino (Roast Beef y Nugget) utilizando carne de baja calidad de la parte anterior de la canal.

4.1. Objetivos particulares

- Determinar las condiciones óptimas de tiempo y temperatura durante el periodo de incubación en la reestructuración cárnica de bovino.
- Determinar las condiciones óptimas de incubación y el efecto de la refrigeración después de la incubación en la reestructuración cárnica de bovino.
- Determinar el efecto de la interacción de las condiciones de incubación y refrigeración, con la concentración de la adición de la MTGasa en la reestructuración cárnica de bovino.
- Determinar el efecto de la interacción de la MTGasa y carragenina en la reestructuración cárnica de bovino.
- Elaborar productos cárnicos reestructurados (Roast Beef y Nugget) utilizando cortes de la parte anterior de la canal adicionando MTGasa y carragenina.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1.1. Carne de res

Para la elaboración de los geles cárnicos reestructurados de res (GCR) (Etapa 1) se utilizaron piezas completas de res de la parte posterior de la canal (pulpa bola), para disminuir el efecto por la presencia de tejido conectivo, facias y tendones en los parámetros de textura en los geles cárnicos de res.

Para la elaboración de los productos cárnicos reestructurados de res (Roast Beef y Nugget), se utilizó carne de la parte anterior de la canal de bajo valor económico (chambarete). La carne fue adquirida en una tienda comercial y su procedencia era de rastros TIF. Las piezas fueron limpiadas, retirándoles tendones, facias y el exceso de grasa intermuscular. Una vez limpia, la carne se cortó en trozos pequeños para ser molida, utilizando un molino para carne (Momat, Model 10022. México D.F.), con un cedazo de 5mm.

5.1.2. Transglutaminasa microbiana

La composición de la enzima es de 1% de MTGase y 99 % de una mezcla de maltodextrina y caseinato como excipientes. La actividad de la MTGasa utilizada para la investigación fue determinada por el metodo Grssowicz o del hidroxamato, presentando una actividad de 13.24 UA/10 min.

5.1.3. Carragenina

La composición de la carragenina es una combinación de kappa (κ), lambda (λ) y iota (ι) carrageninas.

5.2. Metodología

La presente investigación se realizó en 2 diferentes etapas para determinar las condiciones óptimas de reestructuración de productos cárnicos de res utilizando transglutaminasa microbiana (MTGasa).

5.2.1. Etapa 1

Se divide en 4 estudios individuales, los cuales corresponden a cada una de las necesidades de investigación para fundamentar, determinar, explicar y optimizar el proceso de reestructuración catalizado por la MTGasa en productos cárnicos cocidos de res. Para dicha etapa se utilizó un modelo de investigación llamado “gel” o “geles”.

Estudio 1

El objetivo del estudio (Condiciones óptimas de tiempo y temperatura durante la incubación), fue el de determinar las condiciones óptimas de tiempo y temperatura de incubación en los GCR adicionando MTGasa. Los GCR fueron incubados durante 30 minutos continuando con una cocción a 90 °C durante 15 minutos. Los controles con y sin la enzima fueron cocidos sin incubación.

Cuadro 2. Diseño del estudio 1 (GCR). Las variables independientes en este estudio fueron: Concentración de MTGasa (0 y 3 g/kg) y temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C)

MTGasa	Incubación		Cocción	Repeticiones (#)
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)		
Sin	----	----	90 °C x 30 min	12
	40			12
	50	30		12
	60			12
3 g/kg	----	----	90 °C x 30 min	12
	40			12
	50	30		12
	60			12

Estudio 2

Uno de los objetivos (1) del estudio (Condiciones óptima de incubación y efecto de la refrigeración después de la incubación), fue determinar las condiciones óptimas de tiempo y temperatura de incubación en los GC. El segundo objetivo (2) fue el de analizar el efecto de la refrigeración posterior al tratamiento térmico durante la incubación en los GR.

Cuadro 3. Diseño del estudio 2 (GC). Las variables independientes fueron: Concentración de MTGasa (0 y 3 g/kg), temperatura (40, 50 y 60°C) y tiempo (30 y 60min) durante la incubación.

MTGasa	Incubación		Cocción	Repeticiones (#)
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)		
Sin	----	----	90 °C x 30 min	12
	----	----		12
	40	----		12
3 g/kg	50	30	90 °C x 30 min	12
	60	----		12
	40	----		12
	50	60	90 °C x 30 min	12
	60	----		12
	60	----		12

Cuadro 4. Diseño del estudio 2 (GR). Las variables independientes fueron: Concentración de MTGasa (0 y 3 g/kg), temperatura (40, 50 y 60°C), tiempo (30 y 60min) durante la incubación y refrigeración pos-incubación (4 °C x 12 horas).

MTGasa	Incubación		Refrigeración (4 °C)	Cocción	Repeticiones (#)
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)			
Sin	----	----	12 horas	90 °C x 30 min	12
	----	----			12
	40	----			12
3 g/kg	50	30	12 horas	90 °C x 30 min	12
	60	----			12
	40	----			12
	50	60	12 horas	90 °C x 30 min	12
	60	----			12
	60	----			12

Estudio 3

El objetivo del estudio (Efecto de la interacción de las condiciones de incubación y refrigeración con la concentración en la adición de la MTGasa) fue el de determinar el efecto en la relación de las condiciones de incubación y refrigeración con diferentes concentración de MTGasa.

Cuadro 5. Diseño del estudio 3 (GC). Las variables independientes fueron: Concentración de MTGasa (0, 1, 3 y 5 g/kg), temperatura (40, 50 y 60°C) durante la incubación.

MTGasa	Incubación		Cocción	Repeticiones
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)		
Sin	-----	-----	90 °C x 30 min	12
	40			12
	50	30		12
1 g/kg	60		90 °C x 30 min	12
	40			12
	50	30		12
3 g/kg	60		90 °C x 30 min	12
	40			12
	50	30		12
5 g/kg	60		90 °C x 30 min	12
	40			12
	50	30		12
	60			12

Cuadro 6. Diseño del estudio 3 (GR). Las variables independientes fueron: Concentración de MTGasa (0, 1, 3 y 5 g/kg), temperatura (40, 50 y 60°C), durante la incubación y refrigeración pos-incubación (4 °C x 12 horas).

MTGasa	Incubación		Refrigeración (4 °C)	Cocción	Repeticiones
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)			
Sin	-----	-----	12 horas	90 °C x 30 min	12
	40				12
	50	30			12
1 g/kg	60		12 horas	90 °C x 30 min	12
	40				12
	50	30			12
3 g/kg	60		12 horas	90 °C x 30 min	12
	40				12
	50	30			12
5 g/kg	60		12 horas	90 °C x 30 min	12
	40				12
	50	30			12
	60				12

Estudio 4

El objetivo del estudio (Efecto de la interacción en la adición de MTGasa y la carragenina en los GCR) fue el de determinar el efecto de la interacción en la adición de MTGasa y carragenina.

Cuadro 7. Diseño del estudio 4 (GCR). Las variables independientes fueron: Concentración de MTGasa (0, 1 y 3 g/kg), carragenina (0, 5, 7.5y 10 g/kg).

MTGasa	Carragenina (g/kg)	Incubación	Cocción	Repeticiones (#)
Sin	0	50 °C x 30 min	90 °C x 30 min	12
	5			12
	7.5			12
	10			12
1 g/kg	0	50 °C x 30 min	90 °C x 30 min	12
	5			12
	7.5			12
	10			12
3 g/kg	0	50 °C x 30 min	90 °C x 30 min	12
	5			12
	7.5			12
	10			12

5.2.2. Etapa 2

Corresponde a la aplicación de la información obtenida en la Etapa 1 para la elaboración de los productos cárnicos reestructurados de bovino (Roast Beef y Nugget). Los grupos corresponden a los roast beef o nuggets sin MTGasa ni carragenina (control), el grupo de roast beef o nuggets con MTGasa y carragenina, y el grupo de roast beef o nuggets de una marca comercial.

5.2.3. Elaboración general de los geles cárnicos reestructurados de bovino

Durante la elaboración de los geles cárnicos reestructurados de bovino (GCR), la carne previamente molida fue procesada durante 10 minutos en una cutter con una capacidad de 5.51 kg (modelo 84145, Troy, OH, USA.), agregándole MTGasa y ingredientes (sal y carragenina en polvo) dependiendo del tratamiento utilizado. La pasta cárnica fue embutida, usando una embudidora manual de acero inoxidable modelo E17-1 (Polinox S.A) en tubos de acero inoxidable de 18 cm de largo y 1.87 cm de diámetro con tapones de rosca y una capacidad aproximada de 110 g. Los tubos fueron lubricados en su interior con aceite vegetal comestible, para facilitar la extracción

completa de los geles. Los tubos con la pasta cárnica, fueron incubados sumergiéndolos en agua a diferentes temperaturas y tiempos, según el tratamiento, continuando con una cocción a 90 °C durante 15 minutos. Después de la cocción los tubos con los geles fueron inmersos en escarcha de hielo durante 30 minutos. Los geles fueron desmoldados de los tubos y mantenidos a 4 °C en bolsas de polietileno hasta su análisis.

5.2.4. Elaboración del Roast beef reestructurado de bovino

Para la elaboración del roast beef reestructurado de bovino, se peso la carne previamente molida en una balanza digital (Modelo QT 5000, con capacidad máxima de 5 kg, USA), y se procesó durante 10 minutos en una cutter con una capacidad de 5.51 kg (modelo 84145, Troy, OH, USA.) adicionándole los ingredientes (Cuadro 8).

La pasta cárnica fue embutida usando una embutidora manual de acero inoxidable modelo E17-1 (Polinox S.A) en fundas casing-net de 10 cm de diámetro, evitando la formación de burbujas de aire y cerrándola con hilo de algodón por ambos lados.

Cuadro 8. Formulación utilizada en la elaboración del roast beef reestructurado de bovino.

Ingrediente	Cantidad en %	Cantidad en g
Carne de res	75.1	2500
Sal	2.00	50
MTGasa *	0.10	2.5
Carragenina *	0.75	18.75
Eritorbato de sodio	0.05	1.25
Suero de leche	5.00	125
Aislado de soya	1.00	25
Azúcar	0.50	12.5
Cebolla en polvo	0.30	7.5
Pimienta en polvo	0.20	5
Condimento carnotex	5.00	125
Agua	10.00	250
Total	100	3122.5

* No fueron adicionados en el grupo control

La pasta cárnica embutida fue incubada a 50 °C durante 30 minutos en un horno, continuando con una cocción a 90 °C durante 30 minutos, para inducir la completa cocción y asegurar la inactivación total de la enzima. Después de la cocción los roasts beef fueron inmersos en escarcha de hielo durante 30 min. Posteriormente se les retiro

la funda de cocción y se envasaron en un empaque primario de polipropileno al vacío con una empacadora (Black & Dcker Fresh-Guard, Modelo VS200, USA).

5.2.5. Elaboración de los Nuggets reestructurado de bovino

Para la elaboración de los nuggets reestructurado de bovino, se pesó la carne previamente molida en una balanza digital (Modelo QT 5000, con capacidad máxima de 5 kg), y se procesó durante 10 minutos en una cutter con una capacidad de 5.51 kg (modelo 84145, Troy, OH, USA.) adicionándole los ingredientes (Cuadro 9).

Cuadro 9. Formulación utilizada en la elaboración de los nuggets reestructurado de bovino.

Ingredientes	Cantidad en %	Cantidad en g
Carne de res	94.4	1500
Sal	2.00	30
MTGasa *	0.10	1.5
Carragenina *	0.75	11.25
Eritorbato de sodio	0.05	0.75
Fécula de papa	1.50	22.5
Azúcar	0.50	7.5
Cebolla en polvo	0.30	4.5
Ajo en polvo	0.20	3
Pimienta en polvo	0.20	3
Base	---	BPM
Empanizador	---	BPM
Total	100	1584

* No fueron adicionados en el grupo control

La pasta cárnica fue embutida usando una embutidora manual de acero inoxidable modelo E17-1 (Polinox S.A) en fundas de celulosa de 2 cm de diámetro, evitando la formación de burbujas de aire y anudándolas por ambos lados. La pasta cárnica fue congelada durante 5 horas. Posteriormente, la funda de celulosa fue retirada y la pasta fue rebanada, obteniendo rodajas de 2 cm de diámetro y 1 cm de alto \pm 3mm. Las rodajas rebanadas fueron inmersas en la base y posteriormente empanizados (nuggets). Los nuggets fueron introducidos en charolas de acero inoxidable en un horno y se incubaron a 50 °C durante 30 min. A continuación se realizó la precocción a 90 °C durante 10 min, asegurando la completa inactivación de la enzima. Los nuggets fueron envasados en charolas de unigel y un empaque primario de polipropileno al vacío con una empacadora (Black & Dcker Fresh-Guard, Modelo VS200, USA).

5.2.6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas fueron medidas usando un textuómetro TA-XT2i Stable Micro System Texturometer (Viana Court, England), software Texture Expert Version 1.22 (español) 1999. Los geles fueron cortados en pequeños cilindros con un tamaño de 1.87 cm de diámetro por 2.5 cm de largo y mantenidos en bolsas de polietileno durante 1 hora a 4 °C para evitar su deshidratación antes de ser analizados.

El análisis de perfil de textura (TPA) fue realizado usando la sonda cilíndrica de aluminio (P/50) de 50 mm de diámetro. Las muestras fueron comprimidas a 75% de tamaño inicial, usando una velocidad de compresión de 60 mm/min. Fracturabilidad, dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad fueron medidas. Seis muestras fueron analizadas para cada uno de los tratamientos. Las graficas obtenidas directamente del software son mostradas en la figura 14.

La prueba de punción fue realizada con una compresión del 75% de tamaño inicial de la muestra, a una velocidad de compresión de 1mm/seg, con la sonda esférica (P/20) de 1.2 cm de diámetro. Fuerza de gel (kg), deformación (cm) y fuerza de ruptura (kg x cm) fueron determinados para cada uno de los tratamientos. Las muestras fueron puestas en la base del textuómetro, teniendo especial cuidado de que la sonda esférica las penetrara en el centro.

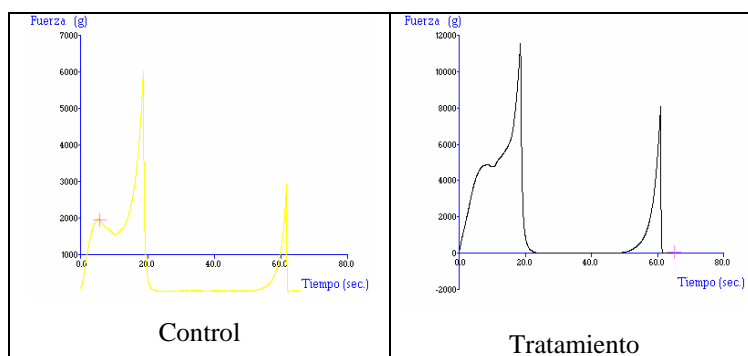


Figura 14. Graficas de TPA obtenidas del software textural analyzer (español) 1.22

5.2.7. Atributos de color

El espectro de refractancia de los geles cárnicos reestructurados de res fue determinado usando un colorímetro portátil (HunterLab MiniScan XE Plus spectrophotometer modelo 45/0-L; Hunter Assoc., Reston, VA, USA.) calibrado con

una teja blanca y una negra y con un estándar de iluminación D65/10°. Se obtuvieron los valores de CIE L^* , a^* y b^* , y se calcularon los valores de chroma $[(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$ y el ángulo de Hue $[\text{arc tan } (b^*/a^*)]$. Se analizaron seis muestras para cada uno de los tratamientos.

5.2.8. Capacidad de retención de agua

Para medir la CRA se pesaron 3 ± 0.1 g de muestra se enrollaron en 5 capas de papel filtro (Wathman No 1). Las muestras fueron introducidas en tubos plásticos con rosca de 50 ml y centrifugados a 10000 g durante 15 min a 15 °C. Inmediatamente después de la centrifugación, las muestras fueron retiradas del papel filtro y pesadas. La CRA fue calculada utilizando la siguiente formula:

$$CRA = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

CRA es la capacidad de retención de agua expresada en porcentaje, P_i es el peso inicial (g) y P_f es el peso final (g). Tres muestras fueron analizadas por cada tratamiento.

5.2.9. Perdida por cocción

La perdida por cocción de GCR fue calculada mediante la diferencia del peso inicial de la pasta cárnica y el peso final de los geles cárnicos reestructurados de res, expresado en porcentaje. La cantidad expresada de pérdida por cocción fue calculada con la siguiente fórmula.

$$\text{Perdida por cocción} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

La pérdida por cocción se expresa en porcentaje (%), P_i corresponde al peso inicial de la pasta cárnica (g) y P_f es el peso final de los geles cárnicos de res (g).

5.2.10. Evaluación sensorial

Los productos elaborados (roast beef y nuggets) se sometieron a una evaluación sensorial, mediante una prueba de nivel de agrado. Se encuestaron 75 panelistas no entrenados (consumidores de diversas escalas sociales, culturales y hábitos alimenticios). Utilizando un cuestionario con escala hedonica de 7 puntos en la cual 1

significó disgusta mucho y 7 gusta mucho. Los productos cárnicos fueron proporcionados a los panelistas aleatoriamente codificados, de acuerdo a la TABLA H de números aleatorios. Las muestras fueron ofertadas en charolas junto con un vaso de agua.

5.2.11. Análisis estadísticos

Los resultados fueron analizados con el programa Statgraphics 5.0 (Software Manugistic, Inc., Rockville, MD), utilizando el análisis de varianza multifactorial. La diferencia entre medias fue establecida utilizando la mínima diferencia significativa (LSD), con la prueba de rangos múltiple, determinando diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamiento.

Tratamientos

Las variables independientes corresponden:

- Temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C)
- Tiempo de incubación (30 y 60 min)
- Concentración de MTGasa (0, 1, 3 y 5 g/kg)
- Refrigeración pos-incubación (4 °C x 12 horas)
- Concentración de carragenina (5, 7.5 y 10 g/kg)

Las variables de respuesta corresponden:

- Parámetros de textura
- Atributos de color
- Capacidad de retención de agua
- Perdida por cocción

6. RESULTADOS

6.1. Condiciones óptimas de tiempo y temperatura durante la incubación

Los GCR fueron estudiados con y sin la adición de 3 g/kg de MTGasa, incubados en tres diferentes temperaturas (40, 50 y 60 °C) durante 30. Los controles con y sin la enzima fueron cocidos sin incubación.

6.1.1. Pruebas mecánicas

Los parámetros de TPA y Punción en los geles cárnicos reestructurados de bovino (GCR) se incrementaron significativamente ($P \leq 0.05$) con la adición de 3 g/kg de MTGasa comparados con los GCR sin enzima. El efecto de la temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C) presentó el mayor incremento en los parámetros de textura cuando la MTGasa fue añadida en comparación con los que no tenían enzima.

La Figura 15 muestra los resultados obtenidos en los parámetros de fracturabilidad y dureza de los GCR. El control sin la adición de MTGasa presentó los valores más bajos 3.64 y 10.07 kg, mientras que en el control con la enzima se aumentaron los valores a 5.18 y 11.56 kg de fracturabilidad y dureza respectivamente. En los GCR con 3 g/kg de MTGasa se presentó un aumento significativo ($P \leq 0.05$) conforme fue aumentando la temperatura de incubación, encontrando los valores más altos en los geles incubados a 50 °C. Sin embargo, cuando los GCR fueron incubados a una temperatura de 60 °C disminuyeron significativamente los valores de fracturabilidad y dureza.

El efecto de la temperatura de incubación y la adición o no de MTGasa sobre los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad en los GCR son mostrados en el Cuadro 10. La elasticidad de los geles no presentó una diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, se observó el aumento en la elasticidad de los geles incubados a 60 °C sin la adición de MTGasa, mientras que a la misma temperatura pero con la adición de MTGasa el valor del parámetro de elasticidad disminuye. El parámetro de cohesividad presentó los valores más altos en los GCR incubados a 60 °C durante 30 minutos con la adición de la enzima, manteniendo una igualdad entre el control y los geles incubados a 40 y 50°C con 3 g/kg de MTGasa. Encontrando los valores más bajos para los geles sin MTGasa. Los geles incubados a 50 °C con MTGasa presentaron los valores más altos para la masticabilidad.

Los valores de la prueba de punción aumentaron con la adición de la MTGasa, comparandolos con los geles sin la adición de la enzima. El control con MTGasa presentó un incremento significativo ($P \leq 0.05$) en los valores del parámetro de fuerza de gel con respecto al control sin MTGasa. Pero por otro lado el tratamiento control al cual se le adicionó la MTGasa presentó valores bajos en los parámetros de la prueba de punción comparándolos con los tratamientos incubados a diferentes temperaturas con la adición de la enzima. La Figura 16 muestra los resultados obtenidos para los parámetros de deformación, fuerza de ruptura y fuerza de gel. Los geles incubados a 60 °C con 3 g/kg de MTGasa fueron mayores con 47.52 kg x cm que el control y los geles incubados a 40 °C en la fuerza de gel. El tratamiento con los valores más altos para la fuerza de gel con 59.17 kg x cm fueron los geles incubados a 50 °C con MTGasa.

Los valores de fuerza de ruptura y deformación de los controles aumentaron de 2.16 a 3.15 kg y de 9.16 a 9.46 cm respectivamente con la adición de MTGasa. Los GCR incubados a 40, 50 y 60 °C durante 30 minutos sin MTGasa no presentaron ninguna diferencia significativa entre tratamientos ni con respecto al control sin MTGasa. Sin embargo, para los valores de fuerza de ruptura y fuerza de gel, los GCR con la adición de MTGasa presentaron un aumento significativo ($P \leq 0.05$) conforme fue aumentando la temperatura de incubación. Por otra parte, los valores más altos registrados en este estudio para los parámetros de la prueba de punción fueron presentados por los geles incubados a 50°C durante 30 min con la adición de 3 g/kg de MTGasa.

6.1.2. Color

Las variables de color en los geles cárnicos reestructurados de bovino L^* , a^* , b^* , croma y hue son mostrados en el Cuadro 11. La adición de MTGasa no origino una diferencia significativa entre los tratamientos. Aunque los parámetros de color fueron ligeramente modificados principalmente por la temperatura de incubación. Los valores de L^* aumentaron significativamente en los GCR cuando fueron incubados a 50 °C con MTGasa. Los valores de a^* no se modificaron por la temperatura de incubación ni por la presencia o ausencia de la enzima. Los valores de b^* y croma de los GCR no presentaron cambios significativos entre los controles y los tratamientos incubados a diferentes temperaturas, mientras que los valores más altos fueron presentados por los geles incubados a 60°C con o sin la utilización de la MTGasa. Los valores de hue no

presentaron ningún cambio estadísticamente significativo ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos y controles.

6.1.3. Capacidad de retención de agua y Pérdida por cocción

El Cuadro 12 muestra los valores obtenidos en la capacidad de retención de agua (CRA) y pérdida por cocción (PC) de los GCR. La CRA no presentó ninguna diferencia entre los tratamientos con y sin la MTGasa, lo cual indica que la adición de MTGasa en la reestructuración de geles cárnicos de res no modificó la CRA. Se observaron cambios mínimos en los valores de CRA entre los tres con diferentes temperaturas de incubación. El control y los geles incubados a 40 y 50 °C presentaron una diferencia significativa cuando fueron comparados con los geles incubados a 60 °C. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los geles no presentó ninguna diferencia estadística ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos. Los resultados muestran que no hay diferencia significativa entre el uso o no de la MTGasa para la PC en los GCR en el presente estudio.

Figura 15. Efecto de la temperatura de incubación y de la adición de MTGasa en los parámetros de fracturabilidad y dureza de los GCR.

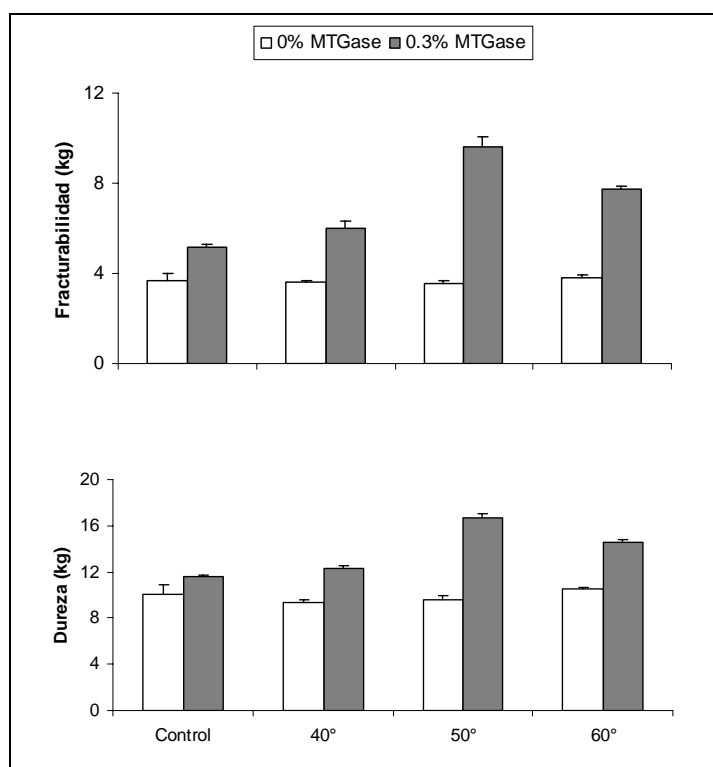
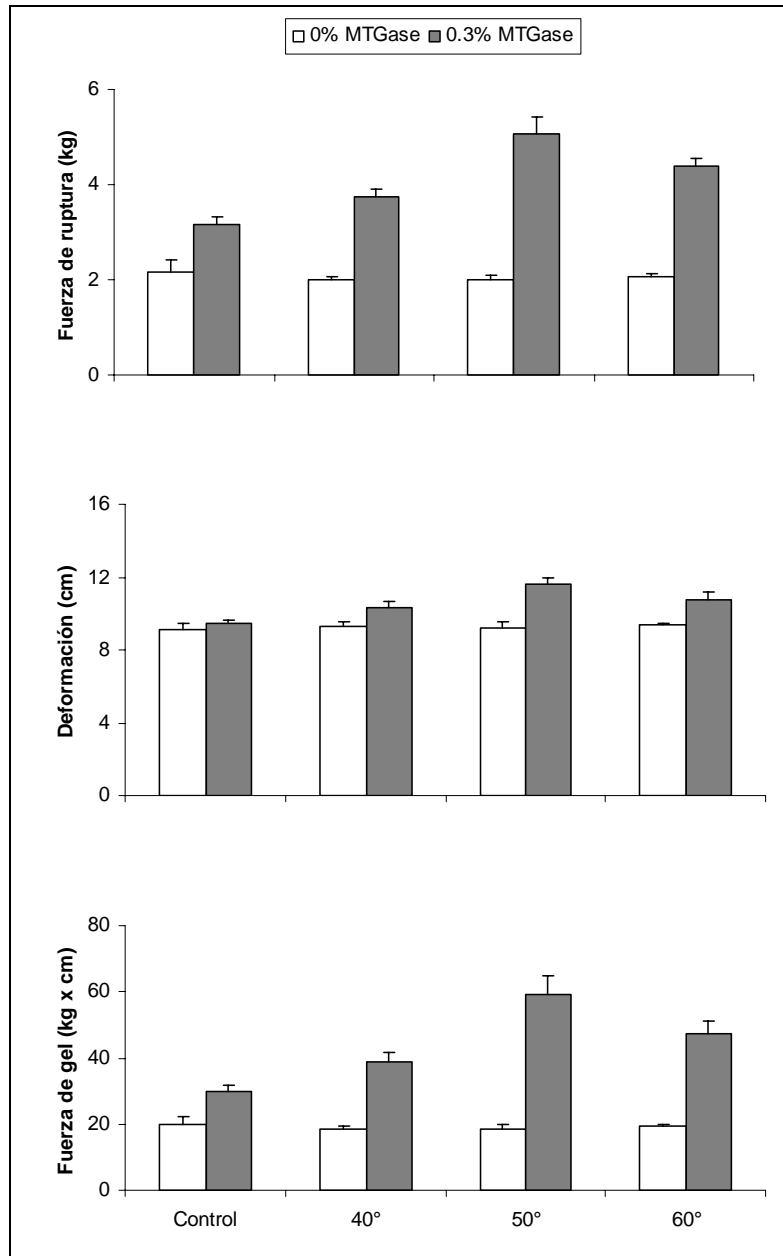


Figura 16. Efecto de la temperatura de incubación y de la adición de MTGasa en los parámetros de la prueba de punción de los GCR.



Cuadro 10. Efecto de la temperatura de incubación y la adición de MTGasa en los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad de los GCR.

Parámetros de textura	0 g/kg MTGasa				3 g/kg MTGasa			
	Control	40 °C	50 °C	60 °C	Control	40 °C	50 °C	60 °C
Elasticidad	0.805 ^{aA} (0.016)	0.795 ^{aA} (0.005)	0.801 ^{aA} (0.011)	0.835 ^{bA} (0.006)	0.814 ^{bA} (0.004)	0.813 ^{bA} (0.004)	0.821 ^{bA} (0.007)	0.797 ^{aA} (0.005)
Cohesividad	0.238 ^{cA} (0.003)	0.231 ^{bA} (0.002)	0.221 ^{aA} (0.023)	0.221 ^{aA} (0.002)	0.253 ^{aB} (0.003)	0.249 ^{aB} (0.002)	0.253 ^{aB} (0.003)	0.267 ^{bB} (0.003)
Masticabilidad	2.067 ^{abA} (0.203)	1.868 ^{aA} (0.052)	1.942 ^{aA} (0.091)	2.361 ^{bA} (0.031)	2.254 ^{aB} (0.046)	2.296 ^{aB} (0.069)	3.023 ^{cB} (0.097)	2.568 ^{bB} (0.041)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA de los GCR por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA de los GCR por efecto de la concentración de enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 11. Efecto de la temperatura de incubación y la adición de MTGasa en los atributos de color de los GCR.

Atributos de color	0 g/kg MTGasa				3 g/kg MTGasa			
	Control	40 °C	50 °C	60 °C	Control	40 °C	50 °C	60 °C
<i>L</i> *	55.75 ^{aA} (0.39)	55.76 ^{aA} (0.53)	55.01 ^{aA} (0.39)	55.48 ^{aA} (0.14)	55.92 ^{bA} (0.59)	56.26 ^{bA} (0.57)	54.51 ^{aA} (0.36)	55.42 ^{abA} (0.24)
<i>a</i> *	4.42 ^{aA} (0.24)	4.13 ^{aA} (0.19)	4.15 ^{aA} (0.16)	4.37 ^{aA} (0.15)	4.03 ^{aA} (0.24)	4.31 ^{aA} (0.29)	4.51 ^{aA} (0.21)	4.56 ^{aA} (0.16)
<i>b</i> *	12.38 ^{aA} (0.31)	12.35 ^{aA} (0.21)	12.26 ^{aA} (0.37)	12.58 ^{aA} (0.19)	12.02 ^{aA} (0.24)	12.62 ^{aA} (0.21)	12.84 ^{aA} (0.41)	12.86 ^{aA} (0.31)
<i>Croma</i>	13.15 ^{aA} (0.35)	13.03 ^{aA} (0.16)	12.95 ^{aA} (0.38)	13.32 ^{aA} (0.21)	12.68 ^{aA} (0.17)	13.35 ^{abA} (0.26)	13.62 ^{bA} (0.39)	13.65 ^{bA} (0.33)
<i>Hue</i>	70.42 ^{aA} (0.69)	71.48 ^{aA} (0.98)	71.28 ^{aA} (0.48)	70.84 ^{aA} (0.45)	71.34 ^{aA} (1.38)	71.19 ^{aA} (1.02)	70.55 ^{aA} (1.04)	70.46 ^{aA} (0.43)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en el color de los GCR por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en el color de los GCR por efecto de la concentración de enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 12. Efecto de la temperatura de incubación y la adición de MTGasa en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción de los GCR.

	0 g/kg MTGasa				3 g/kg MTGasa			
	Control	40 °C	50 °C	60 °C	Control	40 °C	50 °C	60 °C
CRA	19.44 ^{abA} (0.35)	19.68 ^{abA} (0.74)	17.98 ^{aaA} (0.09)	20.59 ^{caA} (0.87)	17.78 ^{aaA} (0.27)	18.06 ^{aaA} (0.66)	19.55 ^{baA} (0.18)	20.11 ^{baA} (0.37)
PC	23.08 ^{aaA} (0.52)	22.53 ^{aaA} (1.04)	22.58 ^{aaA} (0.56)	23.74 ^{aaA} (1.88)	22.84 ^{aaA} (1.46)	23.54 ^{aaA} (0.23)	23.19 ^{aaA} (0.13)	23.81 ^{aaA} (1.93)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de color de los GCR por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GCR por efecto de la concentración de enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

6.2. Condiciones óptima de incubación y efecto de la refrigeración después de la incubación

Se dividió el estudio en dos grupos de GCR; los geles incubados a diferentes temperaturas con una cocción a 90 °C durante 15 min, “son identificados como GC”; y los geles refrigerados a 4 °C durante 12 horas posterior a la incubación y con su posterior cocción “son identificados como GR” Los controles corresponden a los GC y GR con y sin la adición de la MTGasa a los cuales no se incubo antes de la cocción.

6.2.1 Pruebas mecánicas

El Cuadro 13 muestra los resultados obtenidos en los parámetros del TPA en los GC. Al adicionar 3 g/kg de MTGasa los GC presentaron una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los controles de los tratamientos utilizados en este estudio. Los controles de los GC sin MTGasa presentaron niveles bajos de textura comparados con los controles con la adición de la enzima. Sin embargo, el control con MTGasa registró niveles menores en los parámetros de TPA en comparación con los GC con 3 g/kg de MTGasa e incubados a diferentes temperaturas. La temperatura de incubación modificó estadísticamente los parámetros de TPA. Los GC incubados a 40 °C presentaron los niveles más bajos de fracturabilidad, dureza y masticabilidad. Aumentar la temperatura de incubación a 50 o 60 °C mejoro significativamente las propiedades mecánicas de los GC. Mientras que al aumentar el tiempo de incubación de 30 a 60 minutos no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0.05$) en los parámetros de TPA. Por otro lado, los resultados obtenidos de los GR (Cuadro 14) muestran que la refrigeración posterior a la incubación no modifica las propiedades mecánicas de los geles, ya que se presentó la misma tendencia general en los parámetros de TPA. Aunque se observó un mínimo efecto por la refrigeración en los GR con la adición de la enzima. Las propiedades mecánicas de los GR aumentaron en los parámetros de fracturabilidad y dureza cuando se incubo a 40 °C. Mientras que los GR no presentaron un aumento significativo con los GC cuando se aumentó la temperatura de incubación de 40 a 50 o 60 °C (Figura 17).

El Cuadro 15 muestra los resultados obtenidos en la prueba de punción de los GC. Los resultados mostraron una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las temperaturas de incubación de los GCR. La simple adición de la enzima aumento los parámetros de fuerza de gel, deformación y fuerza de ruptura en los GC. El control con

la enzima presentó valores mayores que el control sin la enzima. El tiempo y la temperatura de incubación modificaron significativamente las propiedades mecánicas de los GC. Incubar a 50 °C durante 30 minutos presentó los valores más altos de todo el estudio. Por otro lado, la refrigeración posterior al tratamiento térmico no modificó los parámetros de fuerza de gel, deformación y fuerza de ruptura en los GR (Cuadro 16). Al aumentar de 50 a 60 °C la temperatura de incubación durante 30 minutos se disminuyó de 3.822 a 3.364 kg y de 42.91 a 35.111 kg x cm para fuerza de gel y fuerza de ruptura respectivamente.

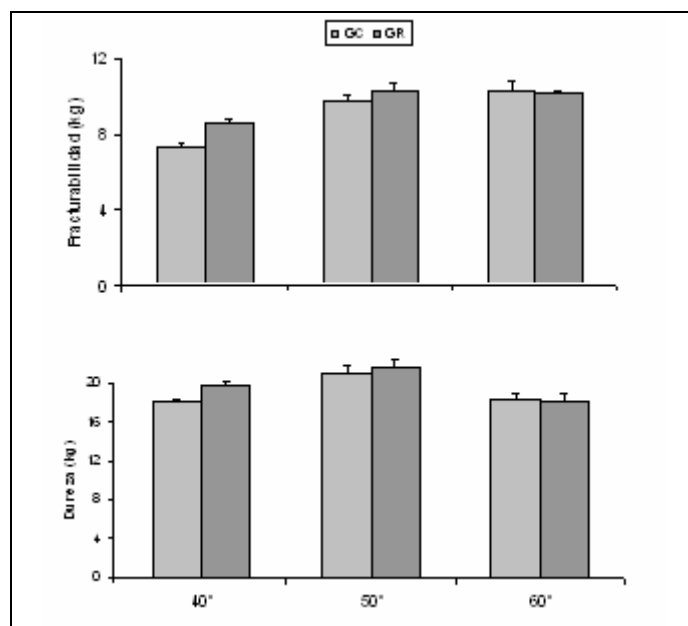
6.2.2. Color

El Cuadro 17 muestra los valores de *hue*, *croma* L^* , a^* y b^* de los GC. Los controles con MTGasa presentaron un aumento en los valores de *hue* comparados con los controles sin enzima ($P \leq 0.05$). No se presentó ninguna diferencia por la temperatura de incubación, mientras que el aumento en el tiempo de incubación independientemente de la temperatura, se tradujo en un aumento en los valores de *hue* para los GC. Los parámetros de L^* , a^* y b^* presentaron mínimos cambios por la temperatura de incubación. Mientras que la refrigeración de los GR no mostró cambios significativos en los parámetros de color (Cuadro 18). Las condiciones de refrigeración utilizadas en este estudio no afectan la formación del color durante el periodo de cocción.

6.2.3. Capacidad de retención de agua y Pérdida por cocción

El Cuadro 19 muestra la PC y la CRA de los GC. La diferencia en el peso inicial y final de los GC no presenta diferencias significativas entre tratamientos ($P \geq 0.05$). La adición de MTGasa no presentó ninguna diferencia en la PC y CRA. La temperatura y tiempo de incubación así como la refrigeración en los GR (Cuadro 20) no presentaron una diferencia significativa en la CRA y PC. Los resultados de la PC en GCR no presentaron aumentos o deficiencias por efecto de la adición de la MTGase.

Figura 17. Efecto de la incubación y refrigeración en la fracturabilidad de los GR y GC.



Cuadro 13. Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en los parámetros de TPA en los GC.

GC	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Fracturabilidad	3.736 ^A (0.175)	4.569 ^B (0.093)	5.548 ^{aC} (0.176)	7.409 ^{bC} (0.212)	7.744 ^{bC} (0.458)	6.539 ^{aC} (0.132)	7.622 ^{bC} (0.305)	6.631 ^{aC} (0.251)
Dureza	8.965 ^A (0.091)	9.472 ^B (0.102)	12.337 ^{aC} (0.312)	16.270 ^{cC} (0.090)	15.082 ^{bC} (0.257)	13.431 ^{aC} (0.295)	15.871 ^{cC} (0.208)	14.225 ^{bC} (0.111)
Elasticidad	0.743 ^A (0.025)	0.754 ^B (0.013)	0.824 ^{aC} (0.006)	0.843 ^{aC} (0.004)	0.844 ^{aC} (0.005)	0.835 ^{abC} (0.003)	0.857 ^{bC} (0.007)	0.831 ^{aC} (0.010)
Cohesividad	0.215 ^A (0.005)	0.222 ^B (0.003)	0.243 ^{abC} (0.004)	0.251 ^{bC} (0.003)	0.238 ^{aC} (0.003)	0.246 ^{aC} (0.002)	0.256 ^{bC} (0.001)	0.247 ^{aC} (0.009)
Masticabilidad	1.483 ^A (0.074)	1.504 ^B (0.058)	2.484 ^{aC} (0.109)	3.456 ^{cC} (0.050)	3.036 ^{bC} (0.050)	2.754 ^{aC} (0.049)	3.496 ^{bC} (0.075)	2.930 ^{aC} (0.159)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA de los GC por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA de los GC por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 14. Efecto de la refrigeración posterior a la incubación en los parámetros de TPA en los GR.

GR	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
Fracturabilidad	3.732 ^A (0.206)	4.402 ^B (0.119)	6.486 ^{aC} (0.161)	7.820 ^{bC} (0.278)	7.696 ^{bC} (0.121)	7.151 ^{abC} (0.124)	7.832 ^{bC} (0.294)	6.538 ^{aC} (0.318)
Dureza	8.888 ^A (0.081)	9.564 ^B (0.106)	12.372 ^{aC} (0.276)	15.861 ^{cC} (0.233)	13.872 ^{bC} (0.084)	12.152 ^{aC} (0.215)	15.936 ^{cC} (0.145)	13.318 ^{bC} (0.297)
Elasticidad	0.746 ^A (0.018)	0.773 ^B (0.013)	0.827 ^{aC} (0.003)	0.852 ^{bC} (0.003)	0.823 ^{bC} (0.002)	0.841 ^{bC} (0.004)	0.845 ^{bC} (0.002)	0.819 ^{aC} (0.004)
Cohesividad	0.224 ^A (0.005)	0.237 ^B (0.005)	0.241 ^{abC} (0.006)	0.250 ^{bC} (0.005)	0.242 ^{abC} (0.002)	0.240 ^{aC} (0.003)	0.246 ^{aC} (0.003)	0.247 ^{aC} (0.005)
Masticabilidad	1.488 ^A (0.060)	1.707 ^B (0.072)	2.472 ^{aC} (0.108)	3.387 ^{cC} (0.091)	2.772 ^{bC} (0.037)	2.458 ^{aC} (0.050)	3.324 ^{cC} (0.070)	2.701 ^{bC} (0.071)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA de los GR por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA de los GR por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 15. Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en los parámetros de la prueba de punción en los GC.

GC	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
Fuerza de ruptura	2.007 ^A (0.139)	2.199 ^B (0.093)	3.014 ^{aC} (0.104)	3.822 ^{cC} (0.056)	3.364 ^{bC} (0.121)	3.318 ^{aC} (0.138)	3.597 ^{bC} (0.071)	3.113 ^{aC} (0.036)
Deformación	9.071 ^A (0.282)	9.596 ^B (0.243)	9.536 ^{aC} (0.349)	11.212 ^{cC} (0.215)	10.401 ^{bC} (0.209)	11.010 ^{aC} (0.037)	10.961 ^{aC} (0.162)	10.309 ^{aC} (0.27)
Fuerza de gel	21.194 ^A (1.790)	20.470 ^B (1.019)	28.892 ^{aC} (1.964)	42.910 ^{cC} (1.377)	35.111 ^{bC} (1.979)	36.760 ^{abC} (2.777)	39.466 ^{bC} (1.24)	32.127 ^{aC} (1.082)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción de los GC por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción de los GC por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 16. Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en los parámetros de la prueba de punción en los GR.

GR	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
Fuerza de ruptura	2.114 ^A (0.060)	2.173 ^B (0.055)	3.167 ^{aC} (0.111)	3.478 ^{aC} (0.079)	3.241 ^{aC} (0.185)	3.731 ^{bC} (0.248)	3.016 ^{aC} (0.104)	3.692 ^{bC} (0.155)
Deformación	9.466 ^A (0.169)	9.671 ^B (0.223)	10.024 ^{aC} (0.397)	10.271 ^{aC} (0.245)	10.116 ^{aC} (0.398)	11.056 ^{aC} (0.441)	10.093 ^{aC} (0.363)	11.181 ^{aC} (0.284)
Fuerza de gel	19.681 ^A (0.805)	20.598 ^B (0.870)	31.878 ^{aC} (2.083)	35.804 ^{aC} (1.603)	33.120 ^{aC} (3.106)	41.748 ^{bC} (4.671)	38.594 ^{aC} (2.008)	41.503 ^{bC} (2.748)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción de los GR por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción de los GR por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 17. Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en las variables de color en los GC.

CG	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
<i>L</i> *	48.42 ^A (0.29)	48.69 ^A (0.33)	48.40 ^{bA} (0.13)	47.19 ^{aA} (0.68)	48.94 ^{bA} (0.22)	48.42 ^{aA} (0.47)	47.93 ^{aA} (0.27)	48.78 ^{aA} (0.39)
<i>a</i> *	5.02 ^A (0.13)	4.77 ^A (0.08)	4.61 ^{abA} (0.05)	4.39 ^{aA} (0.11)	4.95 ^{cA} (0.06)	4.74 ^{aA} (0.1)	4.38 ^{aA} (0.17)	4.49 ^{aA} (0.07)
<i>b</i> *	12.36 ^A (0.13)	12.69 ^A (0.28)	12.44 ^{abA} (0.12)	11.40 ^{aA} (0.7)	12.87 ^{bA} (0.16)	12.57 ^{aA} (0.31)	12.65 ^{aA} (0.36)	12.61 ^{aA} (0.21)
<i>Croma</i>	13.35 ^A (0.15)	13.56 ^A (0.25)	13.26 ^{abA} (0.13)	12.23 ^{aA} (0.67)	13.79 ^{bA} (0.17)	13.44 ^{aA} (0.33)	13.39 ^{aA} (0.36)	13.38 ^{aA} (0.22)
<i>Hue</i>	67.88 ^A (0.5)	69.35 ^B (0.61)	69.63 ^{aA} (0.16)	68.63 ^{aA} (1.21)	68.97 ^{aA} (0.12)	69.32 ^{ab} (0.21)	70.85 ^{bB} (0.78)	70.38 ^{abB} (0.1)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GC por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GC por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 18. Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en las variables de color en los GR.

CR	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
<i>L*</i>	48.39 ^A (0.20)	48.20 ^A (0.27)	48.05 ^{aA} (0.60)	48.14 ^{aA} (0.28)	48.14 ^{aA} (0.35)	48.55 ^{aA} (0.58)	47.78 ^{aA} (0.55)	47.84 ^{aA} (0.32)
<i>a*</i>	4.73 ^A (0.05)	4.66 ^A (0.23)	4.86 ^{aA} (0.13)	4.79 ^{aA} (0.17)	5.47 ^{bA} (0.18)	4.92 ^{bA} (0.13)	4.39 ^{aA} (0.22)	4.89 ^{bA} (0.98)
<i>b*</i>	12.34 ^A (0.30)	12.81 ^A (0.26)	11.95 ^{aA} (0.35)	12.48 ^{abA} (0.10)	12.98 ^{bA} (0.12)	12.72 ^{aA} (0.27)	12.38 ^{aA} (0.26)	12.42 ^{aA} (0.18)
<i>Croma</i>	13.22 ^A (0.28)	13.65 ^A (0.26)	12.90 ^{aA} (0.36)	13.37 ^{abA} (0.13)	14.09 ^{bA} (0.16)	13.64 ^{aA} (0.30)	13.14 ^{aA} (0.31)	13.35 ^{aA} (0.20)
<i>Hue</i>	68.95 ^A (0.57)	70.00 ^B (1.02)	67.82 ^{aA} (0.52)	69.02 ^{abA} (0.66)	67.15 ^{aA} (0.61)	68.85 ^{aB} (0.19)	70.50 ^{aB} (0.73)	68.49 ^{aB} (0.20)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GR por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GR por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 19. Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción en los GC.

GC	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
CRA	19.36 ^A (0.23)	19.72 ^A (0.24)	19.91 ^{aA} (0.15)	19.76 ^{aA} (0.60)	19.75 ^{aA} (0.09)	19.29 ^{aA} (0.66)	20.79 ^{aA} (0.21)	19.35 ^{aA} (0.69)
PC	21.31 ^A (0.42)	21.29 ^A (0.66)	21.07 ^{aA} (0.98)	22.51 ^{aA} (0.81)	21.86 ^{aA} (1.69)	21.44 ^{aA} (1.04)	20.94 ^{aA} (0.14)	20.82 ^{aA} (0.86)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GC por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GC por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 20 Efecto de la temperatura y tiempo de incubación en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción en los GR.

GR	Control		3 g/kg MTGasa					
	0 g/kg MTGasa	3 g/kg MTGasa	30 min			60 min		
			40°	50°	60°	40°	50°	60°
CRA	19.67 ^A (0.25)	19.63 ^A (0.18)	18.91 ^{aA} (0.84)	19.88 ^{aA} (0.06)	20.90 ^{aA} (0.69)	21.43 ^{aA} (0.53)	21.05 ^{aA} (1.08)	20.10 ^{aA} (0.92)
PC	20.79 ^A (0.62)	20.33 ^A (0.29)	21.75 ^{abA} (0.44)	20.63 ^{aA} (0.31)	22.61 ^{bA} (0.40)	21.17 ^{aA} (0.92)	20.83 ^{aA} (1.80)	21.73 ^{aA} (0.53)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GR por efecto de la temperatura durante el mismo tiempo de incubación.

^{A,B,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GR por efecto del tiempo de incubación.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

6.3. Efecto de la interacción de las condiciones de incubación y refrigeración con la concentración en la adición de la MTGasa

Se dividió el estudio en dos grupos de GCR; los geles incubados a diferentes temperaturas con una cocción a 90 °C durante 15 min “son identificados como GC”; y los geles refrigerados a 4 °C durante 12 horas posterior a la incubación y con su posterior cocción “son identificados como GR”. El control de los GC corresponde a los geles sin la adición de la MTGasa cocidos sin incubación. El control de los GR corresponde a los geles sin la adición de la MTGasa, refrigerados a 4 °C durante 12 horas cocidos sin incubación.

6.3.1. Pruebas mecánicas

Los resultados obtenidos de los parámetros de la fuerza de gel, deformación y fuerza de ruptura (Prueba de punción) de los GC son mostrados en la Figura 18. Se observó que aunque existió un aumento en los parámetros de punción en los GC sin MTGasa incubados a diferentes temperaturas no presentaron diferencias significativas con el control. Lo cual indica, en este estudio, el periodo de incubación a diferentes temperaturas no modificó las propiedades mecánicas de los GC cuando no se adiciono la enzima. El principal factor en la formación de los geles en el control fue por efecto de la cocción, la cual se realizo en igualdad de circunstancias.

Al adicionar 1 g/kg de MTGasa se observó una diferencia entre este tratamiento y el tratamiento sin enzima en los parámetros de punción (Figura 18). Conforme fue aumentando el nivel de adición de la MTGasa los parámetros de textura fueron aumentando significativamente por cada tratamiento. En donde los geles con 5 g/kg de MTGasa mostraron los valores más altos de textura. Entre los tratamientos con 5 g/kg de MTGasa se presentó en los parámetros de punción una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) correspondiente a la temperatura de incubación. La fuerza de gel de los GC incubados a 50 °C fue de 3.358 kg, mientras que con el aumento de la temperatura a 60 °C este valor disminuyo a 3.314 kg, aunque esta disminución no fue significativa ($P \leq 0.05$).

Por otro lado, el efecto del periodo de refrigeración de los GR en la prueba de punción es mostrada en la Figura 19. Los resultados de los GR indican que la refrigeración posterior al tratamiento térmico no modificó las propiedades mecánicas de los geles, mientras que la simple adición de la MTGasa mejora las propiedades en los

parámetros de punción. Los GCR muestran que la máxima adición de MTGasa utilizada en este estudio presentó los mayores valores de textura en los parámetros de fuerza de gel y fuerza de ruptura.

La Figura 20, muestra el efecto de la refrigeración de los GR en la fracturabilidad y dureza. En ambos parámetros la interacción de la temperatura de incubación y la concentración de la adición de la enzima son los principales factores que modifican las propiedades mecánicas de los gels. Los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad presentaron las mejores propiedades mecánicas en los GR con la adición de 5 g/kg de MTGasa incubados a 50 °C (Figura 21). Estas constantes se presentan con o sin la refrigeración de los GCR. Lo cual indica que la refrigeración no modifica las propiedades de textura en los GCR de este estudio.

La fracturabilidad y dureza de los GC (Figura 22) muestra un aumento significativamente mayor por el aumento en la adición de la enzima. El control presentó los niveles más bajos de textura. En los tratamientos con diferente concentración de enzima siempre se presentaron los valores más bajos en los geles incubados a 40 °C. Se presentó nuevamente un efecto sinérgico entre el aumento de la adición de la MTGasa y la temperatura de incubación de los GC. Los geles incubados a 50 °C con la adición de 3 g/kg de MTGasa no presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con los beef gels incubados a 60 °C con una mayor adición de la MTGasa (5 g/kg). Aunque al incubar a 50 °C los geles con 5 g /kg mostraron los valores más altos de elasticidad, cohesividad y masticabilidad (Figura 23) del presente estudio.

6.3.2. Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción

El control de los GC presentó el valor más alto en la PC (Cuadro 21). Este mismo parámetro no presentó diferencia significativa entre los tratamientos. El Cuadro 22, muestra el efecto de la refrigeración en la CRA y PC de los GR. No se presentó una diferencia significativa por la adición de la enzima o por la temperatura de incubación en la CRA y PC.

6.3.3. Color

Las variables de color L^* , a^* , b^* , *hue* y *croma* de los GC se muestran en el Cuadro 23. Los valores de L^* se mantuvieron constantes y no presentaron ninguna diferencia por la cantidad de enzima añadida. Los GC incubados a 40 °C con 3 g/kg y sin la adición de MTGasa aumentaron los valores de L^* . Este aumento no se presentó en todos los casos, por lo cual, no se puede asociar el cambio en la brillantez de los geles con la temperatura de incubación. El valor de a^* presentó el valor más alto (Rojizo) del control, pero este no presentó una diferencia estadística con los geles con 1 g/kg de MTGasa y sin adición de la enzima. Entre los GC incubados con diferentes concentraciones de enzima no se presentó ninguna diferencia en a^* . Mientras que el atributo b^* presentó una diferencia entre los geles adicionados con 3 y 5 g/kg de MTGasa con respecto de los geles con 1 g/kg de MTGasa y sin la adición de la enzima. Los GR (Cuadro 24) no presentaron ninguna diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre la temperatura de incubación, adición y concentración de enzima en a^* , b^* , *croma* y *hue*. *Hue* presenta los mayores cambios en los GC sin MTGasa (Cuadro 23). Aunque no se presenta una diferencia significativa entre los geles con 3 y 5 g/kg de enzima. La temperatura de incubación no presentó ningún efecto en la cualidad para distinguir la diferencia de colores (*hue*).

Figura 18. Efecto de la temperatura de incubación y concentración de MTGasa en los parámetros de la prueba de punción de los GC.

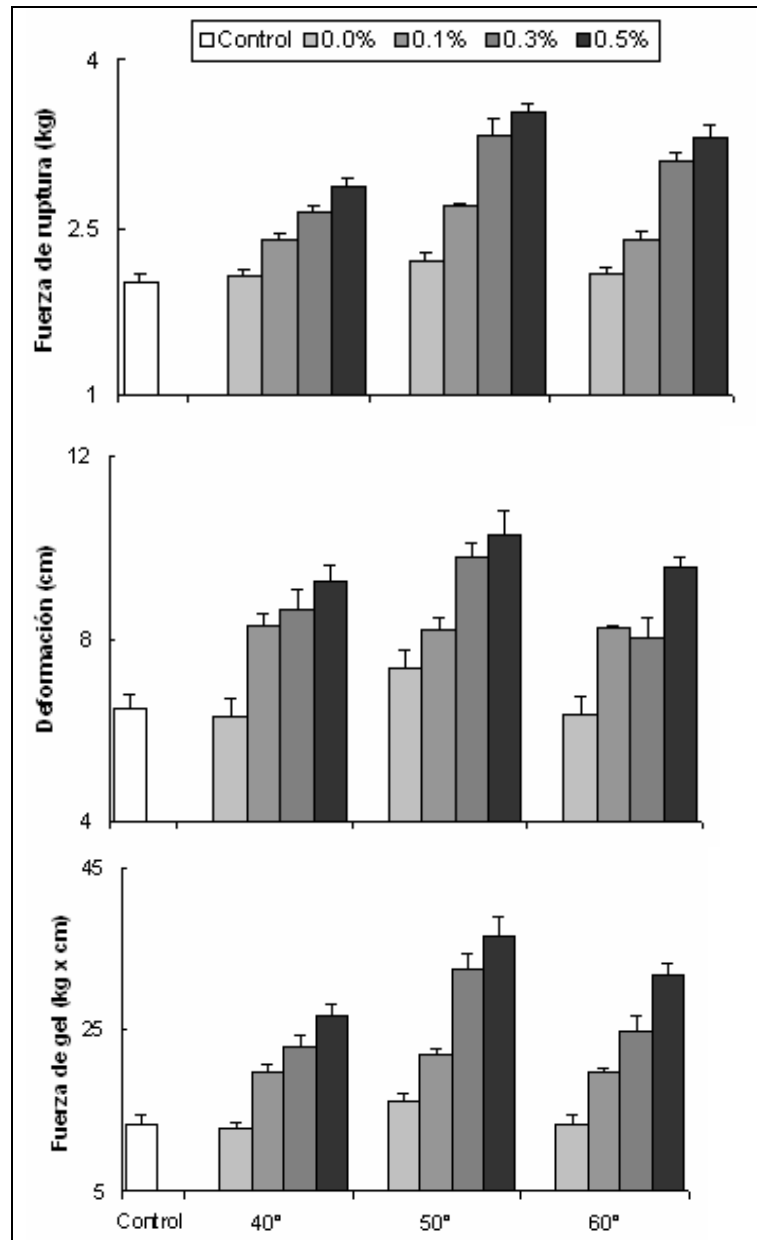


Figura 19. Efecto de la refrigeración posterior a la incubación y concentración de MTGasa en los parámetros de la prueba de punción de los GR.

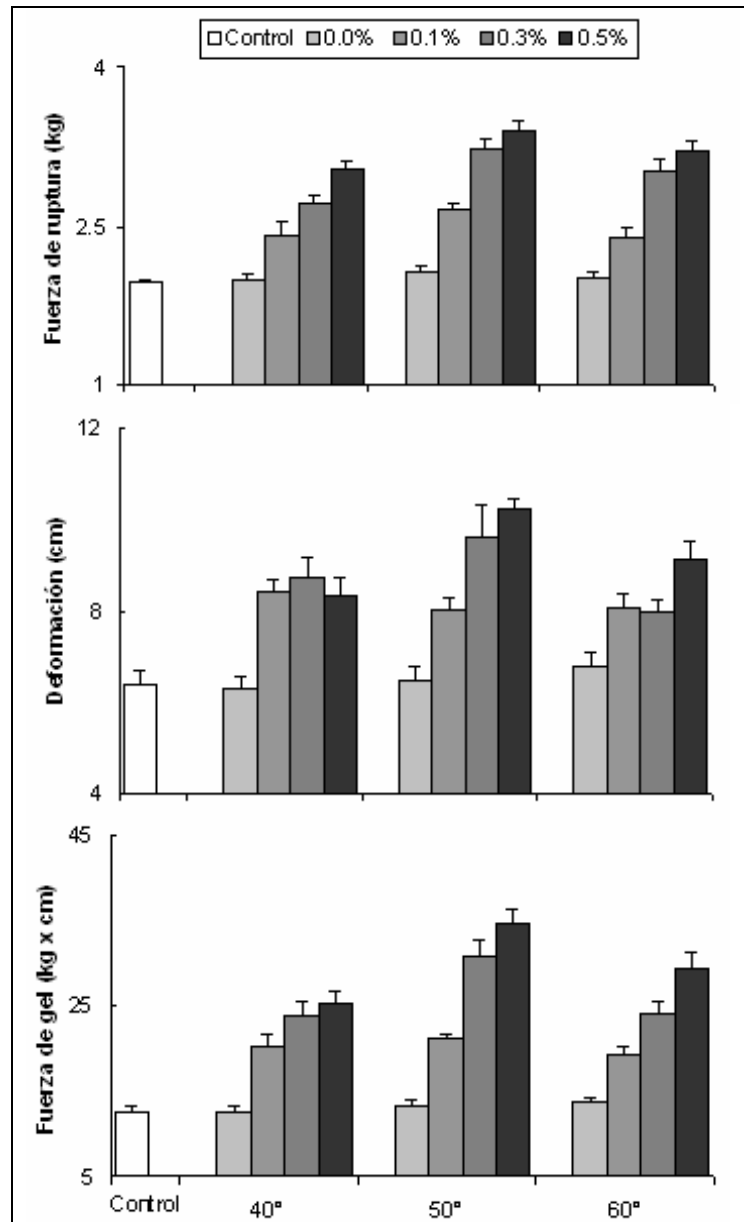


Figura 20. Efecto de la refrigeración posterior a la incubación y concentración de MTGasa en los parámetros de fracturabilidad y dureza de los GR.

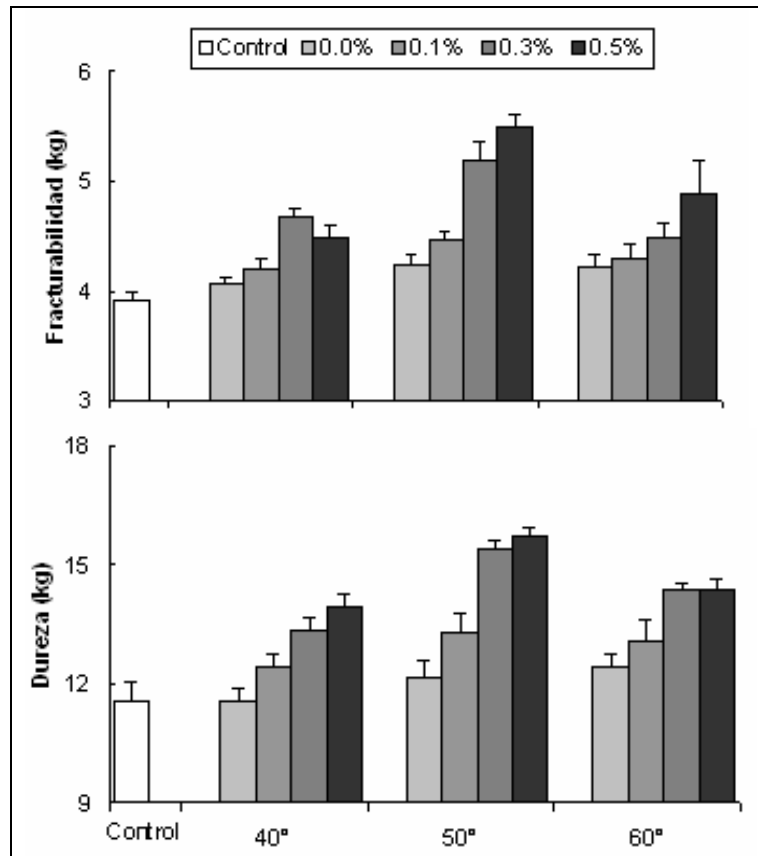


Figura 21. Efecto de la refrigeración posterior a la incubación y concentración de MTGasa en los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad de los GR.

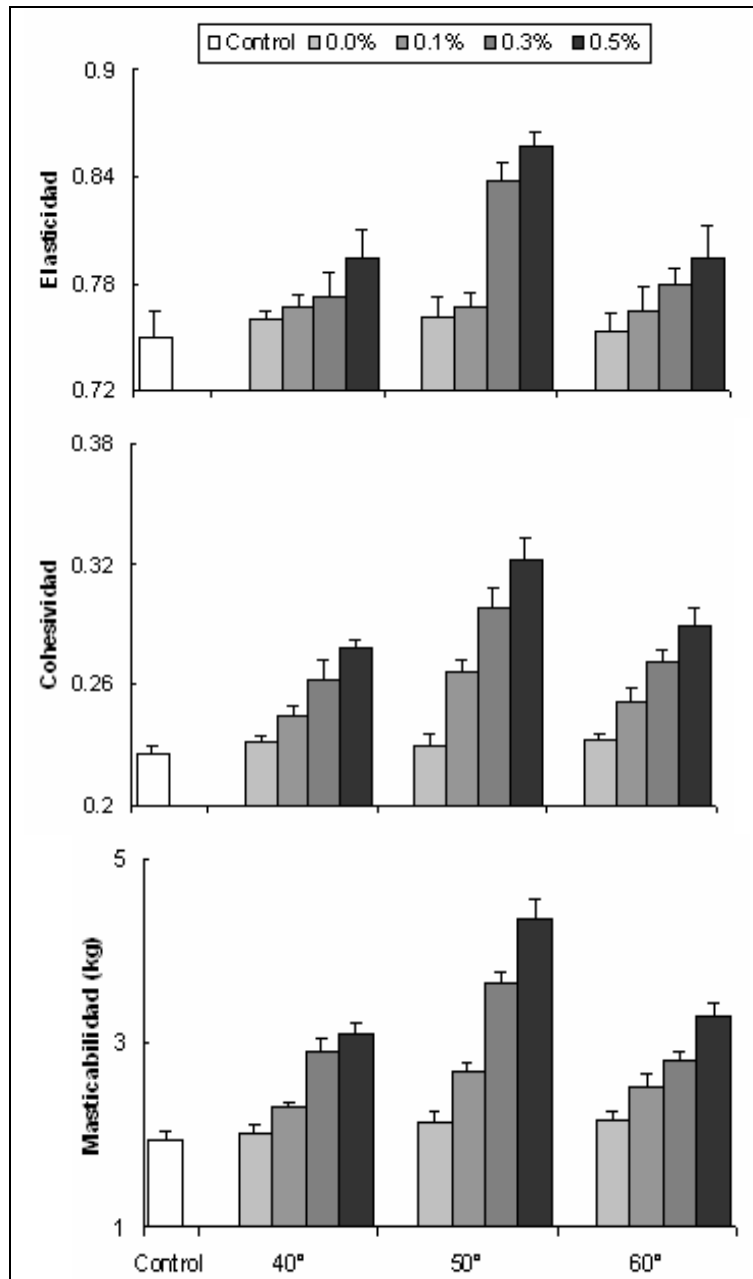


Figura 22. Efecto de la incubación y concentración de MTGasa en los parámetros de fracturabilidad y dureza de los GC.

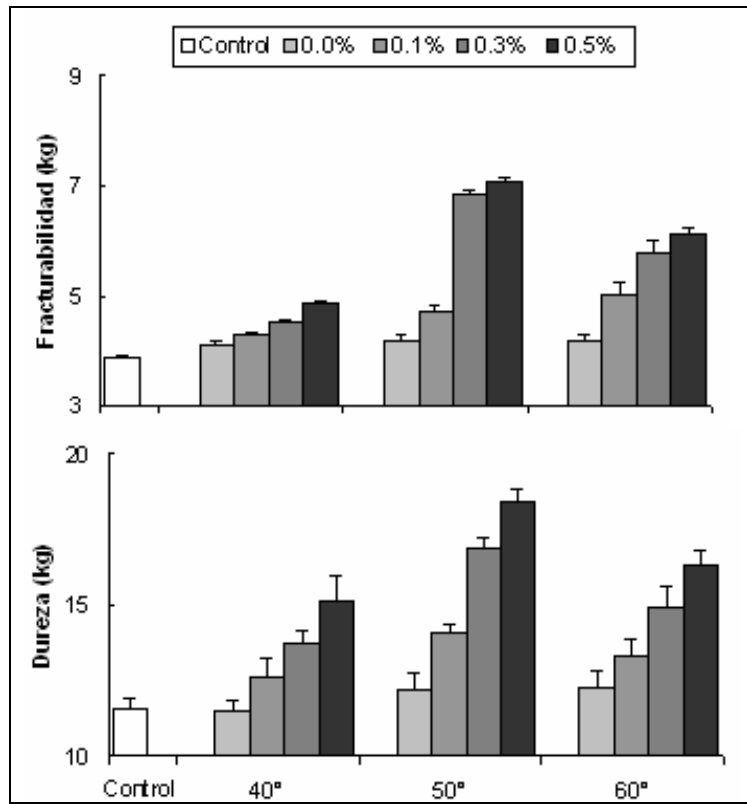
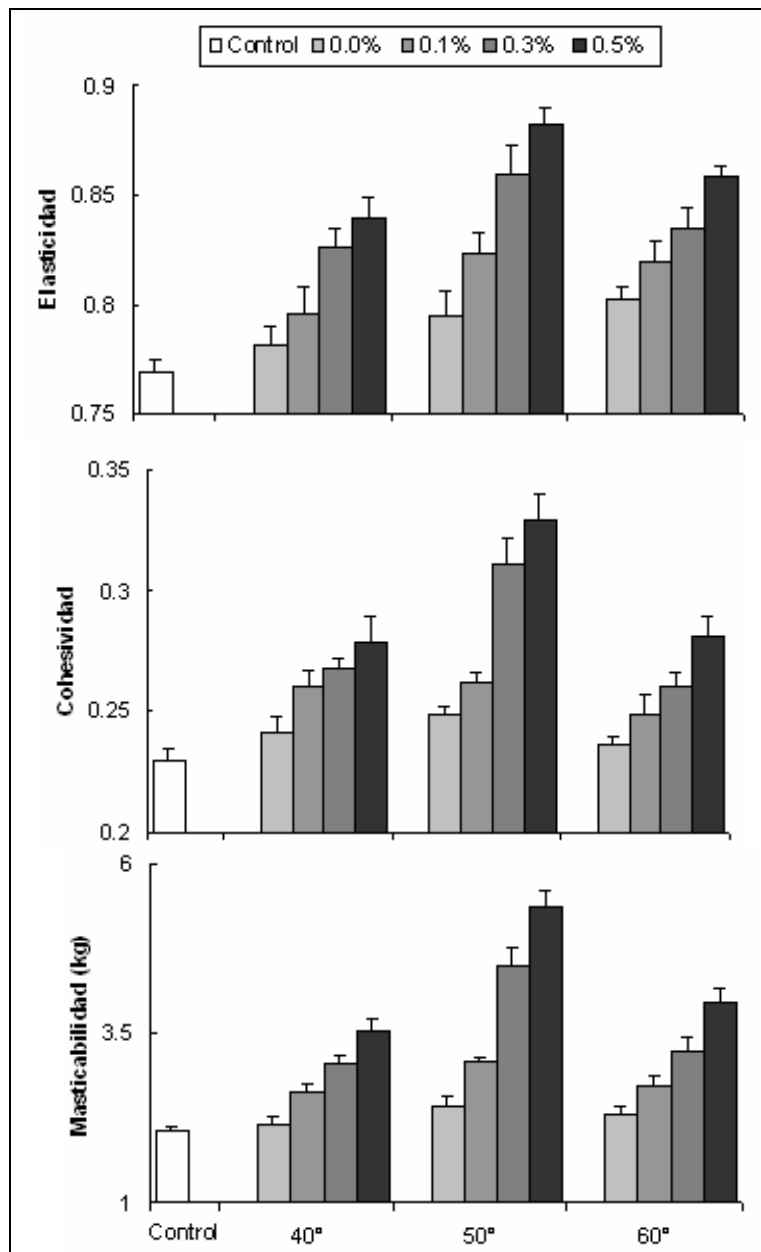


Figura 23. Efecto de la incubación y concentración de MTGasa en los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad de los GC.



Cuadro 21. Efecto de la temperatura de incubación y concentración de enzima en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción en los GC.

MTGasa	Temperatura (°C)	CRA		PC	
Control	-----	19,24 ^B	(0,69)	20,02 ^B	(0,25)
	40	18,14 ^{bAB}	(0,30)	16,51 ^{aA}	(0,055)
0 g/kg	50	17,78 ^{bAB}	(0,26)	16,22 ^{aA}	(0,78)
	60	15,28 ^{aAB}	(0,86)	15,81 ^{aA}	(1,37)
	40	18,29 ^{bA}	(0,67)	16,51 ^{aA}	(0,47)
1 g/kg	50	16,94 ^{abA}	(0,67)	16,22 ^{aA}	(0,78)
	60	15,55 ^{aA}	(0,68)	15,81 ^{aA}	(1,37)
	40	17,34 ^{aAB}	(0,53)	18,45 ^{aA}	(0,51)
3 g/kg	50	16,38 ^{aAB}	(0,66)	14,60 ^{aA}	(0,54)
	60	18,59 ^{aAB}	(1,84)	17,14 ^{aA}	(1,85)
	40	19,33 ^{bAB}	(2,94)	15,93 ^{aA}	(1,63)
5 g/kg	50	18,93 ^{bAB}	(2,75)	17,18 ^{aA}	(1,09)
	60	14,55 ^{aAB}	(0,92)	17,47 ^{aA}	(0,86)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GC por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GC por efecto de la concentración de la enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 22. Efecto de la temperatura de incubación y concentración de enzima en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción en los GR.

MTGasa	Temperatura (°C)	CRA		PC	
Control	-----	14,23 ^A	(0,16)	16,86 ^A	(0,73)
	40	15,75 ^{bA}	(0,67)	16,91 ^{aA}	(0,51)
0 g/kg	50	17,32 ^{bA}	(0,24)	17,83 ^{aA}	(1,11)
	60	12,24 ^{aA}	(1,39)	16,99 ^{aA}	(0,78)
	40	16,30 ^{bA}	(0,61)	17,33 ^{aA}	(1,64)
1 g/kg	50	15,99 ^{abA}	(0,71)	16,88 ^{aA}	(1,60)
	60	13,91 ^{aA}	(1,34)	17,54 ^{aA}	(1,36)
	40	14,48 ^{aA}	(0,46)	17,32 ^{aA}	(1,31)
3 g/kg	50	14,25 ^{aA}	(0,75)	16,69 ^{aA}	(0,79)
	60	15,24 ^{aA}	(0,39)	17,02 ^{aA}	(1,85)
	40	14,35 ^{aA}	(0,58)	17,68 ^{aA}	(0,64)
5 g/kg	50	13,97 ^{aA}	(0,72)	16,59 ^{aA}	(0,23)
	60	15,45 ^{aA}	(0,89)	17,49 ^{aA}	(1,34)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GR por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC de los GR por efecto de la concentración de la enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 23. Efecto de la temperatura de incubación y concentración de enzima en los atributos de color de los GC.

MTGasa	Temperatura (°C)	L*	A*	b*	Croma	Hue
Control	-----	55,02 ^A (1,19)	4,34 ^B (0,17)	9,95 ^{AB} (0,54)	10,87 ^{AB} (0,53)	66,29 ^A (1,09)
	40	58,07 ^{bA} (1,55)	3,97 ^{aAB} (0,15)	9,98 ^{aB} (0,41)	10,75 ^{aB} (0,38)	68,18 ^{aB} (1,19)
0 g/kg	50	53,07 ^{aA} (0,98)	4,09 ^{aAB} (0,07)	10,70 ^{aB} (0,51)	11,46 ^{aB} (0,50)	68,94 ^{aB} (0,59)
	60	54,48 ^{abA} (1,11)	3,95 ^{aAB} (0,15)	10,28 ^{aB} (0,40)	11,01 ^{aB} (0,43)	68,95 ^{aB} (0,37)
	40	55,41 ^{aA} (1,31)	4,20 ^{aAB} (0,14)	9,99 ^{aAB} (0,30)	10,85 ^{aAB} (0,25)	67,07 ^{aA} (1,13)
1 g/kg	50	52,87 ^{aA} (0,99)	3,92 ^{aAB} (0,06)	9,39 ^{aAB} (0,17)	10,18 ^{aAB} (0,16)	67,27 ^{aA} (0,49)
	60	53,96 ^{aA} (1,01)	4,24 ^{aAB} (0,09)	9,98 ^{aAB} (0,40)	10,85 ^{aAB} (0,38)	66,85 ^{aA} (0,74)
	40	56,37 ^{bA} (1,17)	4,00 ^{aA} (0,19)	9,47 ^{aA} (0,23)	10,30 ^{aA} (0,20)	67,04 ^{aAB} (1,27)
3 g/kg	50	54,31 ^{abA} (0,88)	4,05 ^{aA} (0,15)	9,49 ^{aA} (0,35)	10,33 ^{aA} (0,28)	66,72 ^{aAB} (1,41)
	60	53,29 ^{aA} (0,95)	3,80 ^{aA} (0,18)	9,93 ^{aA} (0,27)	10,66 ^{aA} (0,31)	69,07 ^{aAB} (0,51)
	40	54,52 ^{aA} (1,24)	4,14 ^{aA} (0,26)	9,70 ^{aA} (0,53)	10,56 ^{aA} (0,54)	66,80 ^{aAB} (1,27)
5 g/kg	50	54,78 ^{aA} (0,83)	3,84 ^{aA} (0,11)	9,77 ^{aA} (0,30)	10,51 ^{aA} (0,28)	68,46 ^{aAB} (0,84)
	60	52,70 ^{aA} (2,10)	3,85 ^{aA} (0,10)	9,37 ^{aA} (0,45)	10,13 ^{aA} (0,43)	67,51 ^{aAB} (0,92)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GC por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GC por efecto de la concentración de la enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 24. Efecto de la temperatura de incubación y concentración de enzima en los atributos de color de los GR.

MTGasa	Temperatura (°C)	L^*	A^*	b^*	Croma	Hue
Control	----	47,14 ^A (1,40)	4,15 ^A (0,67)	10,33 ^A (0,34)	11,14 ^A (0,42)	66,25 ^A (0,86)
	40	52,03 ^{AB} (1,77)	4,41 ^{bA} (0,26)	10,17 ^{aA} (0,25)	11,10 ^{aA} (0,25)	66,52 ^{aA} (1,48)
0 g/kg	50	53,14 ^{ab} (2,90)	3,94 ^{abA} (0,12)	9,75 ^{aA} (0,30)	10,53 ^{aA} (0,28)	67,91 ^{aA} (0,88)
	60	50,17 ^{ab} (0,86)	3,79 ^{aA} (0,18)	9,83 ^{aA} (0,41)	10,48 ^{aA} (0,39)	68,67 ^{aA} (1,21)
	40	48,65 ^{aAB} (1,35)	3,99 ^{aA} (0,28)	9,50 ^{aA} (0,16)	10,32 ^{aA} (0,19)	67,27 ^{aA} (1,49)
1 g/kg	50	52,14 ^{aAB} (0,88)	4,08 ^{aA} (0,21)	10,06 ^{aA} (0,39)	10,86 ^{aA} (0,43)	67,96 ^{aA} (1,10)
	60	47,48 ^{aAB} (2,35)	4,04 ^{aA} (0,15)	10,26 ^{aA} (0,27)	11,02 ^{aA} (0,22)	68,59 ^{aA} (1,12)
	40	48,43 ^{aA} (1,56)	4,10 ^{aA} (0,13)	9,94 ^{aA} (0,32)	10,76 ^{aA} (0,29)	67,54 ^{aA} (0,65)
3 g/kg	50	48,99 ^{aA} (2,23)	3,86 ^{aA} (0,29)	9,03 ^{aA} (0,12)	10,04 ^{aA} (0,16)	67,03 ^{aA} (0,46)
	60	47,01 ^{aA} (1,56)	4,06 ^{aA} (0,70)	10,01 ^{aA} (0,91)	10,82 ^{aA} (0,76)	68,15 ^{aA} (0,35)
	40	50,01 ^{aA} (0,85)	3,90 ^{aA} (0,18)	9,76 ^{aA} (0,19)	10,52 ^{aA} (0,17)	68,17 ^{aA} (1,12)
5 g/kg	50	46,77 ^{aA} (1,88)	4,26 ^{aA} (0,12)	10,45 ^{bA} (0,29)	11,29 ^{bA} (0,71)	67,81 ^{aA} (0,26)
	60	47,06 ^{aA} (1,66)	4,10 ^{aA} (0,24)	9,80 ^{abA} (0,12)	10,60 ^{aA} (0,99)	68,04 ^{aA} (0,99)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GR por efecto de la temperatura de incubación con la misma concentración de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de los GR por efecto de la concentración de la enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

6.4. Efecto de la interacción en la adición de MTGasa y la carragenina en los GCR.

Los grupos corresponden a la cantidad de MTGasa adicionada, en donde el grupo uno fue estudiado sin la adición de la MTGasa (0 g/kg). El grupo dos se le adiciono 1 g/kg de MTGasa. El grupo tres correspondió a los geles con 3 g/kg de MTGasa. La carragenina fue adicionada en cada uno de los grupos en cuatro diferentes concentraciones (0, 5, 7.5 y 10 g/kg). Los GCR fueron incubados a 50 °C durante 30 minutos. El grupo control corresponden a los geles con dos niveles de carragenina (0 y 7.5 g/kg) y tres de enzima (0, 1 y 3 g/kg) los cuales fueron cocidos directamente sin ninguna incubación previa.

6.4.1. Pruebas mecánicas

El Cuadro 25 muestra los resultados obtenidos en los parámetros de TPA de los GCR. Los geles del grupo control presentaron un aumento significativo con la adición de 7.5 g/kg de carragenina con respecto a los geles sin ninguno de los dos aditivos. Por otra parte, la adición de MTGasa no mostró ninguna diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en los geles del grupo control. Los resultados del efecto de la adición de ambos aditivos incubados a 50 °C durante 30 minutos en los parámetros de TPA son mostrados en el Cuadro 26. El grupo 1 de los GCR sin MTGasa presento una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los geles sin y con diferentes niveles de carragenina. Dicho aumento se presentó conforme fue aumentando el nivel de adición de la carragenina, en donde se encontró el valor mayor en fracturabilidad y masticabilidad en los geles con 7.5 g/kg de carragenina. Mientras que el máximo valor de dureza se presentó en los geles con 10 g/kg de carragenina. Los GCR del grupo 2 mostraron un aumento significativo entre los geles con los cuatro niveles de carragenina añadida. La adición de 7.5 g/kg del hidrocoloide presento el nivel máximo de fracturabilidad. La simple adición de 1 g/kg de MTGasa modifico favorablemente todos los parámetros de TPA con respecto a los GCR del grupo uno a los cuales no se les adiciono la enzima. El grupo 3 presentó los valores más altos en los parámetros de TPA de los GCR. Los geles con 10 g/kg de carragenina presentaron los niveles máximos de fracturabilidad con 6.021 kg, aunque no se presentó una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) comparándolos con los geles con 7.5 g/kg del hidrocoloide. Por otra parte los GCR con 1 g/kg de MTGasa y 7.5 g/kg de carragenina presentaron valores de fracturabilidad de 5.936 kg mientras que los GCR

con 3 g/kg de la enzima sin carragenina presentaron valores de fracturabilidad de 4.334 y 5.722 correspondientes a los GCR con 3 g/kg de MTGasa y 5 g/kg de carragenina respectivamente. El grupo 3 presenta una significancia mayor comparándolos con los geles del grupo dos, sin embargo los geles con 1 g/kg de enzima y con 7.5 g/kg de carragenina pueden alcanzar valores similares o mayores en los parámetros de TPA comparados con algunos geles del grupo tres.

Los resultados obtenidos de los parámetros de la fuerza de gel, deformación y fuerza de ruptura (Prueba de punción) de los GCR del grupo control son mostrados en el Cuadro 27. En los geles del grupo control se presentó un aumento en los parámetros de la prueba de punción por la adición de 7.5 g/kg de carragenina, mientras que la adición de enzima no presentó ningún efecto significativo. El Cuadro 28 muestra los resultados de la prueba de punción de los GCR incubados y adicionados con ambos aditivos. Los geles del grupo 1 obtuvieron valores menores en la prueba de punción comparándolos con los resultados de los grupos 2 y 3. La fuerza de gel y fuerza de ruptura aumentaron significativamente con el aumento progresivo de la cantidad en la adición de la carragenina. Los geles del grupo dos presentaron un aumento por la simple adición de la enzima, sin embargo este aumento fue mayor en los parámetros de fuerza de gel y fuerza de ruptura con el aumento en la concentración del hidrocoloide, encontrando su valor máximo con la concentración de 10 g/kg de carragenina, aunque no presentó una diferencia ($P \leq 0.05$) con los geles con 7.5 g/kg de carragenina y 1 g/kg de enzima. Al igual que en los resultados de TPA, los GCR del grupo 3 presentaron los valores máximos y una significancia por grupo mayor que los geles del grupo 1, sin embargo nuevamente en el Cuadro 28 se muestra un aumento en los parámetros de fuerza de gel y fuerza de ruptura de algunos geles del grupo 2 con valores mayores o iguales que algunos geles del grupo 3.

6.4.2. Color

Las variables de color de los GCR del grupo control L^* , a^* , b^* , croma y hue son mostrados en el Cuadro 29. Los geles del grupo control no presentaron una diferencia estadística ($P \leq 0.05$) en los valores de a^* , b^* , croma y hue por el efecto de la adición de cualquiera de los dos aditivos. Mientras que la única diferencia presentada por efecto de la adición de la carragenina se presentó en el valor de L^* , en donde, aumentó la significancia de los geles con 7.5 g/kg de carragenina con respecto a los geles sin el hidrocoloide. La utilización de la MTGasa no repercutió en el color de los GCR. Los

geles del grupo 1, 2 y 3 presentaron mínimas diferencias significativas en algunos de los valores de los atributos de color de los GCR por efecto del tratamiento (Cuadro 30).

6.4.3. Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción.

El Cuadro 31 muestra el efecto en la CRA y PC de los tratamientos en los GCR del grupo control. Los geles sin aditivos mostraron un aumento en la PC y CRA. El aumento en la adición de la enzima no representó una diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0.05$) entre los diferentes grupos de los GCR en la CRA o PC. Mientras que en los valores de la CRA los geles del grupo 3 mostraron una menor pérdida de agua por efecto de la adición de 3 g/kg de MTGasa (Cuadro 32). Por efecto de la adición de la carragenina se presentaron los cambios más importantes en los valores de CRA y PC. Los GCR presentaron una disminución en la CRA y PC por efecto del aumento progresivo en la adición de la carragenina, en donde los geles sin carragenina presentaron los valores más altos y los geles con 10 g/kg de carragenina presentaron los valores menores de la CRA y PC ($P \leq 0.05$).

Cuadro 25. Efecto de la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los parámetros de TPA en los GCR del grupo control.

Carragenina MTGasa	0 g/kg	7.5 g/kg		
	0 g/kg	0 g/kg	1 g/kg	3 g/kg
Fracturabilidad (kg)	2.753 ^A (0.16)	3.671 ^{aB} (0.044)	3.409 ^{aB} (0.181)	3.679 ^{aB} (0.042)
Dureza (kg)	8.68 ^A (0.442)	10.962 ^{aB} (0.115)	10.935 ^{aB} (0.552)	10.984 ^{aB} (0.162)
Elasticidad	0.568 ^A (0.009)	0.629 ^{aB} (0.012)	0.637 ^{aB} (0.002)	0.625 ^{aB} (0.008)
Cohesividad	0.164 ^A (0.006)	0.189 ^{aB} (0.001)	0.184 ^{aAB} (0.005)	0.182 ^{aAB} (0.002)
Masticabilidad (kg)	0.824 ^A (0.092)	1.309 ^{aB} (0.027)	1.296 ^{aB} (0.092)	1.253 ^{aB} (0.271)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA por efecto de la carragenina con diferentes concentraciones de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA por efecto de la concentración de carragenina. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 26. Efecto de la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los parámetros de TPA en los GCR incubados.

Grupo	MTGasa g/kg	Carragenina g/kg	Fracturabilidad (kg)	Dureza (kg)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (kg)
0	0	0	3.079 ^{aA} (0.069)	9.452 ^{aA} (0.153)	0.675 ^{aA} (0.01)	0.182 ^{aA} (0.001)	1.166 ^{aA} (0.023)
		5	4.85 ^{bA} (0.042)	11.142 ^{bA} (0.251)	0.702 ^{aA} (0.011)	0.212 ^{bA} (0.006)	1.689 ^{bA} (0.065)
		7.5	3.824 ^{cA} (0.087)	11.097 ^{bcA} (0.39)	0.781 ^{bA} (0.007)	0.207 ^{bA} (0.008)	1.66 ^{bcA} (0.1)
		10	4.119 ^{dA} (0.61)	11.61 ^{cA} (0.088)	0.724 ^{bA} (0.005)	0.221 ^{bA} (0.018)	1.784 ^{cA} (0.053)
1	1	0	3.859 ^{aB} (0.096)	11.528 ^{aB} (0.216)	0.719 ^{aB} (0.016)	0.206 ^{aB} (0.006)	1.714 ^{aB} (0.087)
		5	5.137 ^{bB} (0.088)	11.373 ^{aB} (0.227)	0.774 ^{bB} (0.007)	0.203 ^{aB} (0.002)	2.06 ^{bB} (0.061)
		7.5	5.936 ^{cB} (0.136)	12.046 ^{bB} (0.391)	0.768 ^{bB} (0.003)	0.216 ^{bcB} (0.003)	2.384 ^{cB} (0.08)
		10	5.518 ^{bB} (0.59)	12.989 ^{bB} (0.307)	0.77 ^{bB} (0.009)	0.228 ^{cB} (0.002)	2.282 ^{cB} (0.067)
3	3	0	4.334 ^{aC} (0.205)	12.738 ^{aC} (0.229)	0.755 ^{aC} (0.012)	0.223 ^{aC} (0.003)	2.148 ^{aC} (0.066)
		5	5.722 ^{bC} (0.103)	13.176 ^{abC} (0.278)	0.794 ^{bC} (0.002)	0.228 ^{abC} (0.005)	2.321 ^{aC} (0.062)
		7.5	6.102 ^{cC} (0.253)	13.011 ^{abC} (0.351)	0.78 ^{bC} (0.004)	0.237 ^{cC} (0.006)	2.672 ^{bC} (0.091)
		10	6.021 ^{cC} (0.055)	13.528 ^{bC} (0.312)	0.79 ^{bC} (0.007)	0.246 ^{cC} (0.003)	2.642 ^{bC} (0.102)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA por efecto de la interacción de la MTGasa y carragenina con la misma concentración de enzima.

^{A,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de TPA por efecto de la concentración de la enzima. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 27. Efecto de la interacción de la adición por la enzima y carragenina en los parámetros de la prueba de punción en los GCR del grupo control.

	Carragenina		7.5 g/kg		
	0 g/kg	0 g/kg	1 g/kg	3 g/kg	
Fuerza de ruptura (kg)	1.663 ^A (0.139)	2.208 ^{aB} (0.94)	2.221 ^{aB} (0.8)	2.379 ^{Ab} (0.65)	
Deformación (cm)	7.89 ^A (0.18)	8.44 ^{aB} (0.23)	8.29 ^{aB} (0.11)	8.31 ^{aB} (0.08)	
Fuerza de gel (kg x cm)	12.98 ^A (1.113)	19.08 ^{aB} (0.903)	18.36 ^{aB} (0.567)	18.46 ^{aB} (0.96)	

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción por efecto de la carragenina con diferentes concentraciones de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción por efecto de la concentración de carragenina. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 28. Efecto de la interacción de la adición por la enzima y carragenina en los parámetros de la prueba de punción en los GCR incubados.

Grupo	MTGasa g/kg	Carragenina g/kg	Fuerza de punción (kg)	Deformación (cm)	Fuerza de gel (kg x cm)
I	0	0	1.831 ^{aA}	7.715 ^{aA}	14.211 ^{aA}
			(0.22)	(0.25)	(0.96)
		5	2.029 ^{abA}	8.11 ^{aA}	16.098 ^{abA}
			(0.74)	(0.08)	(0.56)
		7.5	2.035 ^{bA}	7.91 ^{aA}	16.596 ^{bA}
			(0.33)	(0.22)	(0.5)
II	1	10	2.241 ^{cA}	7.98 ^{aA}	17.954 ^{cA}
			(0.91)	(0.79)	(0.96)
		0	2.245 ^{aB}	7.97 ^{aA}	18.056 ^{abB}
			(0.089)	(0.23)	(1.162)
		5	2.597 ^{bB}	8.06 ^{aA}	21.465 ^{bB}
			(0.58)	(0.18)	(1.09)
III	3	7.5	2.657 ^{bcB}	8.44 ^{abA}	23.361 ^{bcB}
			(0.63)	(0.67)	(0.663)
		10	2.759 ^{cB}	8.62 ^{bA}	25.08 ^{cB}
			(0.49)	(0.14)	(0.753)
		0	2.308 ^{aC}	8.07 ^{aB}	18.66 ^{aC}
			(0.136)	(0.37)	(1.76)
		5	2.672 ^{bC}	8.24 ^{abB}	22.89 ^{bC}
			(0.64)	(0.25)	(1.36)
		7.5	2.79 ^{bcC}	8.61 ^{abB}	25.21b ^{cC}
			(0.94)	(0.08)	(0.954)
		10	3.059 ^{bC}	8.96 ^{bB}	27.49 ^{cC}
			(0.46)	(0.23)	(0.957)

^{b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción por efecto de la interacción de la MTGasa y carragenina con la misma concentración de enzima.

^{A,C} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción por efecto de la concentración de la enzima. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 29. Efecto en la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los atributos de color en los GCR del grupo control.

	Carragenina	7.5 g/kg		
	0 g/kg	0 g/kg	1 g/kg	3 g/kg
<i>L*</i>	38.69 ^A	43.05 ^{aAB}	44.71 ^{aAB}	42.51 ^{abB}
	(3.39)	(1.41)	(2.72)	(1.08)
<i>A*</i>	3.36 ^A	3.07 ^{aA}	3.12 ^{aA}	3.54 ^{aA}
	(0.21)	(0.2)	(0.17)	(0.25)
<i>B*</i>	8.79 ^A	8.32 ^{aA}	8.93 ^{aA}	8.73 ^{aA}
	(0.41)	(0.34)	(0.42)	(0.37)
<i>Croma</i>	9.41 ^A	9.43 ^{aA}	8.86 ^{aA}	9.47 ^{aA}
	(0.46)	(0.35)	(0.45)	(0.67)
<i>Hue</i>	69.15 ^A	68.9 ^{aA}	69.76 ^{abA}	70.88 ^{bA}
	(0.53)	(1.17)	(0.42)	(0.78)

^{a,b} Diferentes letras capitales indican la diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color por efecto de la carragenina con diferentes concentraciones de enzima.

^{A,B} Diferentes letras capitales indican la diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color por efecto de la concentración de carragenina. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 30. Efecto en la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los atributos de color en los GCR.

Grupo	MTGasa g/kg	Carragenina g/kg	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>Croma*</i>	<i>Hue*</i>
-------	----------------	---------------------	-----------	-----------	-----------	---------------	-------------

I	0	0	50.15 ^{ba} (1.01)	2.51 ^{aAB} (0.11)	5.37 ^{aAB} (0.33)	5.95 ^{aAB} (0.26)	64.45 ^{aA} (2.27)
		5	38.31 ^{aA} (1.72)	3.73 ^{abAB} (0.21)	8.91 ^{bAB} (0.23)	9.66 ^{bAB} (0.29)	67.39 ^{aA} (0.7)
		7.5	41.27 ^{aA} (3.01)	3.19 ^{bAB} (0.46)	7.95 ^{bAB} (0.79)	8.58 ^{bAB} (0.9)	68.11 ^{aA} (1.09)
		10	38.71 ^{aA} (2.59)	3.98 ^{bAB} (0.43)	8.61 ^{bAB} (0.68)	9.49 ^{bAB} (0.89)	65.38 ^{aA} (0.49)
II	1	0	40.51 ^{aA} (1.98)	3.31 ^{aB} (0.31)	8.02 ^{aB} (0.71)	8.67 ^{aB} (0.78)	67.68 ^{aAB} (0.31)
		5	37.01 ^{aA} (2.43)	3.52 ^{aB} (0.4)	8.31 ^{aB} (0.66)	9.03 ^{aB} (0.76)	67.34 ^{aAB} (0.85)
		7.5	41.06 ^{aA} (2.14)	2.96 ^{aB} (0.48)	7.96 ^{aB} (0.76)	7.94 ^{aB} (0.88)	68.83 ^{aAB} (1.51)
		10	38.89 ^{aA} (1.27)	2.88 ^{aB} (0.34)	8.87 ^{aB} (0.44)	9.7 ^{aB} (0.48)	66.46 ^{aAB} (1.66)
III	3	0	43.01 ^{aA} (2.2)	2.39 ^{aA} (0.45)	6.14 ^{aA} (0.73)	6.6 ^{aA} (0.84)	69.5 ^{aB} (1.38)
		5	39.29 ^{aA} (2.14)	3.19 ^{aA} (0.31)	6.66 ^{abA} (0.49)	7.15 ^{aA} (0.54)	67.77 ^{aB} (1.19)
		7.5	41.12 ^{aA} (2.46)	2.91 ^{aA} (0.42)	7.31 ^{aA} (0.71)	7.88 ^{aA} (0.81)	68.86 ^{aB} (1.31)
		10	45.5 ^{aA} (3.62)	2.57 ^{aA} (0.68)	8.73 ^{ba} (0.68)	9.44 ^{ba} (0.79)	69.53 ^{aB} (1.32)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color por efecto de la interacción de la MTGasa y carragenina con la misma concentración de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color efecto de la concentración de la enzima. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 31. Efecto en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR del grupo control.

Carragenina	0 g/kg		7.5 g/kg	
	0 g/kg	0 g/kg	1 g/kg	3 g/kg
CRA	23.56 ^B	18.15 ^{aA}	18.43 ^{aA}	18.54 ^{aA}
	(1.59)	(0.3)	(0.58)	(0.49)
PC	20.27 ^B	16.73 ^{aA}	16.78 ^{aA}	16.56 ^{aA}
	(0.29)	(0.28)	(1.48)	(0.36)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC por efecto de la carragenina con diferentes concentraciones de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC por efecto de la concentración de carragenina. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 32. Efecto en la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción por la interacción de la adición de la enzima y carragenina en los GCR incubados.

Grupo	MTGasa g/kg	Carragenina g/kg	CRA (%)	PC (%)
I	0	0	25.65 ^{dB}	23.6 ^{cA}
			(0.73)	(1.54)
		5	21.25 ^{cB}	20.49 ^{bA}
			(0.5)	(0.4)
	1	7.5	18.51 ^{bB}	20.8 ^{bA}
			(0.31)	(1.21)
		10	16.23 ^{aB}	17.5 ^{aA}
			(0.46)	(1.44)
II	1	0	25.32 ^{cB}	24.45 ^{cA}
			(0.68)	(1.31)
		5	21.43 ^{bB}	19.08 ^{bA}
			(0.71)	(1.01)
	3	7.5	18.91 ^{aB}	19.49 ^{bA}
			(0.87)	(0.41)
		10	17.49 ^{aB}	16.57 ^{aA}
			(0.57)	(1.02)
III	3	0	24.27 ^{cA}	24.26 ^{bA}
			(1.82)	(1.11)
		5	21.17 ^{bcA}	20.57 ^{abA}
			(0.23)	(0.18)
	10	7.5	19.48 ^{abA}	20.72 ^{abA}
			(0.66)	(1.6)
		10	16.25 ^{aA}	17.19 ^{aA}
			(0.95)	(0.15)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC por efecto de la interacción de la MTGasa y carragenina con la misma concentración de enzima.

^{A,B} Diferentes letras mayúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en la CRA y PC por efecto de la concentración de la enzima.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

6.5. Elaboración de productos cárnicos reestructurados (Roast Beef y Nugget) adicionando MTGasa y carragenina.

Los grupos corresponden a los roast beef o nuggets sin MTGasa ni carragenina (control), el grupo de roast beef o nuggets con MTGasa y carragenina, y el grupo de roast beef o nuggets de una marca comercial.

6.5.1. Pruebas mecánicas

La Figura 24 muestra los parámetros de fracturabilidad, dureza y masticabilidad del estudio comparativo entre los tres diferentes grupos de roast beef. Los roast beef del grupo control presentaron los valores más bajos de fracturabilidad, dureza y masticabilidad, esto mismo fue presentado en las muestras de nuggets del grupo control (Figura 25). Las muestras de roast beef y nuggets con MTGasa y carragenina presentaron una menor fracturabilidad, aunque una mayor dureza y masticabilidad que los roast beef y nuggets de marcas comerciales, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ($P \geq 0.05$). El parámetro de elasticidad obtuvo su valor más bajo con los roast beef del grupo control y su valor más altos de los roast beef con MTGasa y carragenina, pero sin diferencia estadística con los roast beef de la marca comercial (Figura 26). Las muestras de los nuggets presentaron una similitud de resultados en los parámetros de elasticidad y cohesividad que los presentados por las muestras analizadas de roast beef, las cuales son mostradas en la Figura 27. Los parámetros de la fuerza de gel, distancia y fuerza de ruptura son mostrados en el Cuadro 33. Los roast beef con MTGasa y carragenina y los de la marca comercial obtuvieron los valores más altos en la fuerza de gel y fuerza de ruptura. Mientras que la deformación no presentó diferencia significativa entre los tres grupos. El parámetro de la fuerza de gel de los nuggets de la marca comercial obtuvo los valores más bajos con 2.256 kg mientras que con la adición de la enzima y el hidocoloide el parámetro aumento a 4.762 kg. El parámetro de fuerza de ruptura encontró su valor máximo en las muestras de los nuggets con la adición de la enzima y la carragenina, y su valor mínimo en las muestras de la marca comercial (Cuadro 34).

6.5.2. Color

El atributo de luminosidad (L^*) presento un aumento ($P \leq 0.05$) en los roast beef y nuggets de la marca comercial. a^* no mostró ninguna diferencia en las muestras de

roast beef, mientras que para los nuggets de la marca comercial disminuyó significativamente, mostrando una menor tonalidad de rojo que las muestras de los nuggets del grupo control y con la adición de los aditivos (Cuadro 35). *b** presentó el valor máximo en los roast beef con la adición de la enzima y carragenina (Cuadro 36), mientras que este mismo presentó su valor máximo en los nuggets de la marca comercial. La cualidad de hue presentó su valor mínimo en los roast beef y nuggets de la marca comercial, mientras que la cualidad de croma presentó el máximo valor en las muestras obtenidas de la marca comercial en ambos productos.

6.5.3. Capacidad de retención de agua y pérdida por cocción

Los cambios en la CRA y PC de los grupos de roast beef son mostrados en la Figura 28. Los roast beef del grupo control obtuvieron la mayor PC y la menor CRA. Mientras los roast beef con MTGasa y carragenina presentaron la mayor CRA de este estudio. La Figura 29 muestra los cambios en la CRA y PC de las muestras analizadas de los grupos de los nuggets. Los nuggets del grupo control y de la marca comercial presentaron una misma significancia ($P \leq 0.05$) y la menor CRA. Mientras que los nuggets del grupo con la adición de la enzima y el hidrocoloide presentó el mayor porcentaje CRA y el menor porcentaje en la PC.

6.5.4. Evaluación sensorial

Los resultados mostrados en el cuadro 37 indican el grado de aceptación de los roast beef y el cuadro 38 muestra el grado de aceptación de los nuggets. Los roast beef con MTGasa y carragenina presentaron el mayor porcentaje de aceptación en los parámetros de apariencia general y textura evaluándolos como “me gusta y me gusta mucho”. Las muestras de la marca comercial presentaron la mayor aceptación sensorial en los parámetros de color y sabor. La textura y el sabor de los nuggets con la enzima y carragenina presentaron la mayor aceptación. Mientras que las cualidades de apariencia general y color fueron mayormente aceptadas en los nuggets de la marca comercial.

Figura 24. Comparación de los parámetros de fracturabilidad dureza y masticabilidad de los diferentes roast beef.

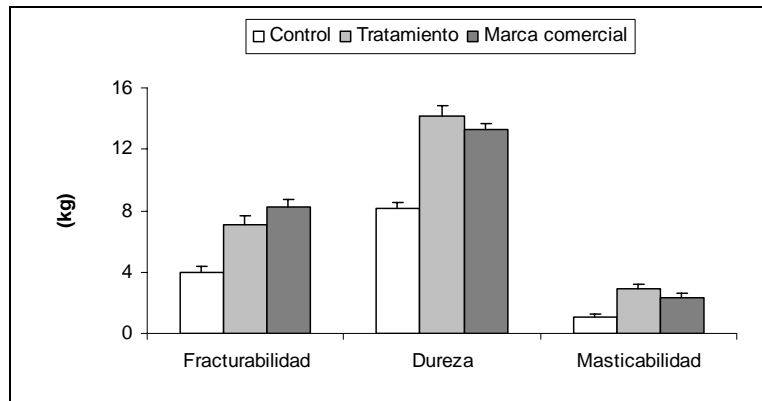


Figura 25. Comparación de los parámetros de fracturabilidad dureza y masticabilidad de los diferentes nuggets.

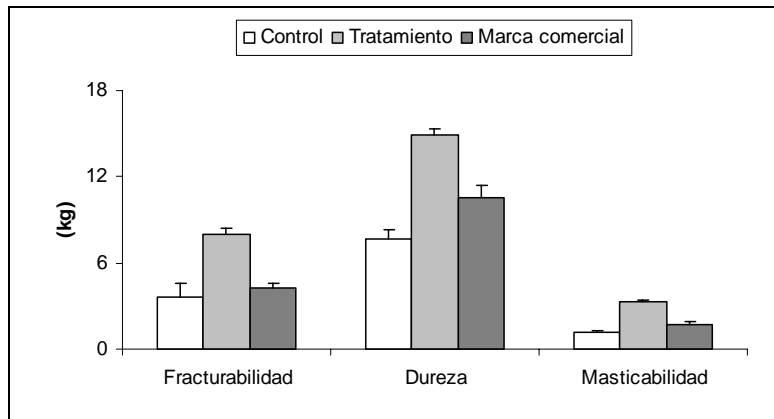


Figura 26. Comparación de los parámetros de elasticidad y cohesividad de los diferentes roast beef.

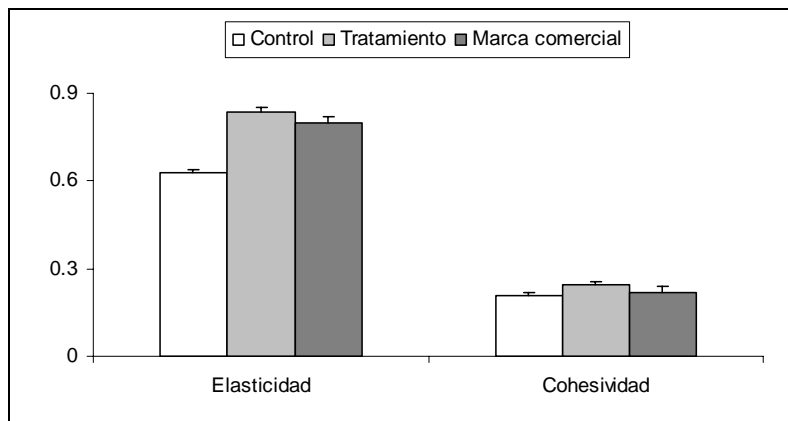


Figura 27. Comparación de los parámetros de elasticidad y cohesividad de los diferentes nuggets.

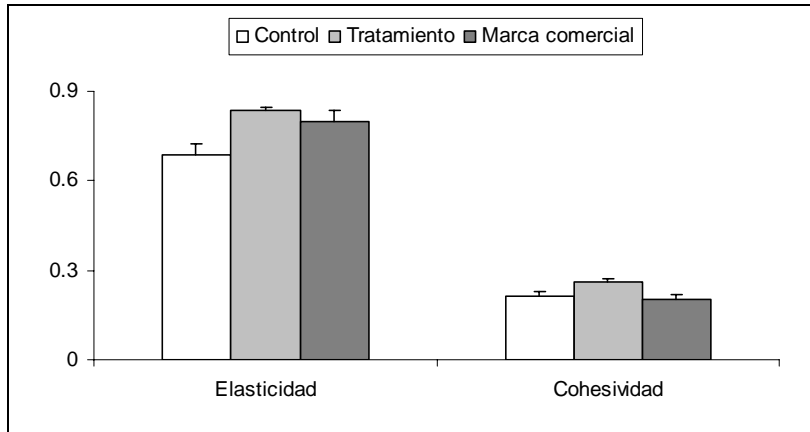


Figura 28. Comparación de la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción diferentes roast beef.

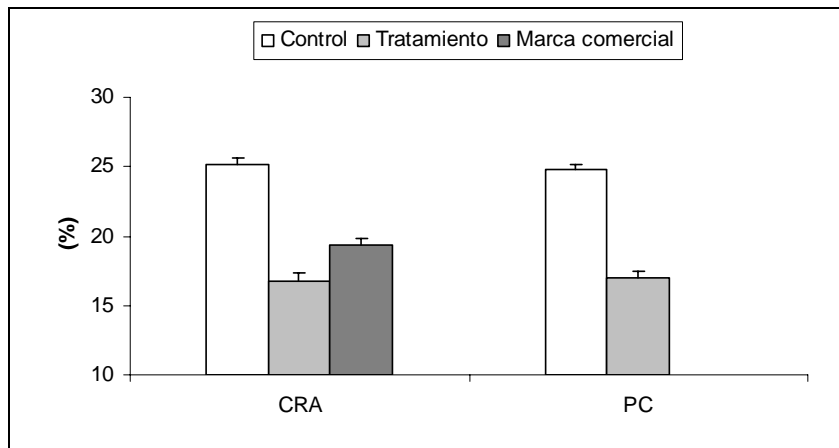
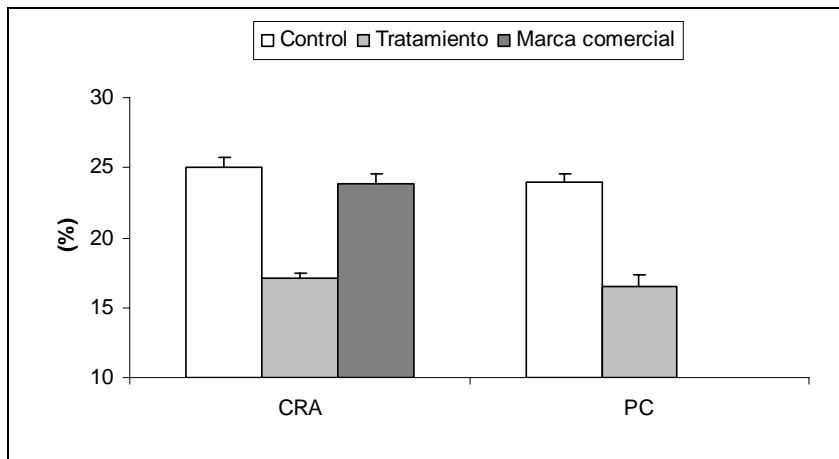


Figura 29. Comparación de la capacidad de retención de agua y pérdida por cocción diferentes nuggets.



Cuadro 33. Comparación de los parámetros de la prueba de punción de los diferentes roast beef.

Roast Beef	Control	Tratamiento	Marca Comercial
Fuerza de gel (kg)	2.175 ^a (0.20)	4.332 ^b (0.31)	4.738 ^b (0.63)
Distancia (cm)	10.634 ^a (0.42)	10.322 ^a (0.37)	9.893 ^a (0.26)
Fuerza de ruptura (kg x cm)	23.125 ^a (1.37)	44.713 ^b (1.89)	46.873 ^b (0.98)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción de la comparación de los diferentes roast beef.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 34. Comparación de los parámetros de la prueba de punción de los diferentes nuggets.

Nuggets	Control	Tratamiento	Marca Comercial
Fuerza de gel (kg)	2.983 ^b (0.24)	4.762 ^c (0.37)	2.256 ^a (0.35)
Distancia (cm)	9.536 ^a (0.35)	9.989 ^a (0.39)	9.019 ^a (0.57)
Fuerza de ruptura (kg x cm)	28.445 ^b (1.06)	47.571 ^c (1.73)	20.346 ^a (1.03)

^{a,b,c} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los parámetros de la prueba de punción de la comparación de los diferentes nuggets.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 35. Comparación de los atributos de color de los diferentes roast beef.

Roast Beef	Control	Tratamiento	Marca comercial
<i>L*</i>	47.14 ^a (1.14)	46.27 ^a (0.84)	52.76 ^b (0.98)
<i>a*</i>	5.67 ^a (0.3)	5.82 ^a (0.44)	6.98 ^a (0.76)
<i>b*</i>	12.33 ^{ab} (0.89)	13.59 ^b (0.44)	10.59 ^a (0.88)
<i>Croma</i>	14.19 ^{ab} (0.90)	13.49 ^a (0.50)	15.84 ^b (0.54)
<i>Hue</i>	67.30 ^b (1.26)	69.06 ^b (1.01)	59.35 ^a (1.44)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de la comparación de los diferentes roast beef.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 36. Comparación de los atributos de color de los diferentes nuggets.

Nugget	Control	Tratamiento	Marca comercial
<i>L*</i>	45.73 ^a (0.56)	46.37 ^a (1.31)	54.19 ^b (1.02)
<i>a*</i>	4.98 ^b (0.73)	5.43 ^b (0.44)	2.83 ^a (0.59)
<i>b*</i>	11.74 ^a (0.72)	11.83 ^a (1.35)	14.31 ^b (0.91)
<i>Croma</i>	12.58 ^a (0.46)	11.87 ^a (0.98)	14.38 ^b (0.83)
<i>Hue</i>	61.45 ^b (0.78)	63.28 ^b (0.96)	57.49 ^a (0.56)

^{a,b} Diferentes letras minúsculas indican diferencia ($P \leq 0.05$) en los atributos de color de la comparación de los diferentes nuggets.

Los valores en paréntesis indican la desviación estándar de las medias.

Cuadro 37. Evaluación sensorial del roast beef.

Roast beef	Control				MTGasa y Carragenina				Marca comercial			
	A. general	Color	Textura	Sabor	A. general	Color	Textura	Sabor	A. general	Color	Textura	Sabor
Me gusta mucho	25.3	21.3	20.0	38.7	37.3	29.3	34.7	38.7	36.0	28.0	28.0	36.0
Me gusta	40.0	36.0	29.3	29.3	44.0	37.3	42.7	29.3	29.3	44.0	33.3	36.0
Me gusta poco	16.0	18.7	28.0	17.3	12.0	16.0	13.3	21.3	18.7	9.3	20.0	18.7
Ni me gusta ni me disgusta	12.0	12.0	10.7	10.7	5.3	14.7	8.0	8.0	12.0	16.0	12.0	5.3
Me disgusta poco	4.0	9.3	9.3	4.0	1.3	2.7	1.3	1.3	4.0	2.7	5.3	2.7
Me disgusta	2.7	2.7	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3	1.3
Me disgusta mucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Los resultados están expresados en porcentaje (%)

Cuadro 38. Evaluación sensorial de nuggets.

Nugget	Control				MTGasa y Carragenina				Marca comercial			
	A. general	Color	Textura	Sabor	A. general	Color	Textura	Sabor	A. general	Color	Textura	Sabor
Me gusta mucho	26.7	10.7	12.0	34.7	33.3	16.0	42.7	37.3	38.7	30.7	45.3	34.7
Me gusta	17.3	30.7	26.7	30.7	40.0	32.0	42.7	30.7	44.0	30.7	29.3	26.7
Me gusta poco	24.0	38.7	33.3	18.7	14.7	42.7	12.0	25.3	10.7	18.7	14.7	28.0
Ni me gusta ni me disgusta	24.0	14.7	21.3	10.7	6.7	8.0	2.7	5.3	6.7	14.7	8.0	6.7
Me disgusta poco	6.7	4.0	4.0	4.0	4.0	1.3	0.0	1.3	0.0	4.0	2.7	2.7
Me disgusta	1.3	1.3	2.7	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	1.3
Me disgusta mucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Los resultados están expresados en porcentaje (%)

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Condiciones óptimas de tiempo y temperatura durante la incubación

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la adición de 3 g/kg de MTGasa aumenta las propiedades mecánicas de los GCR. El aumento en las propiedades de textura que presentó el control con la enzima comparado con el control sin la enzima se puede explicar por la adición de MTGasa, lo cual promueve la unión entre las proteínas, formando redes tridimensionales entre ellas (Ramirez *et al.*, 2007). La baja intensidad en la desnaturalización de las proteínas, por falta de la incubación en los controles no permite a la enzima obtener el sustrato suficiente para catalizar las reacciones de unión entre proteínas (Uresti *et al.*, 2006). Cuando los niveles de desnaturalización de las proteínas son insuficientes la MTGasa no tiene sustrato para su actividad (Jimenes *et al.*, 2005). 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). Pero 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 y Koppelman, 2002). 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 ambos controles ya que 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).

El aumento que presentaron los GCR con la adición de 3 g/kg 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. Cofrades *et al.*,

(2006) mencionan que la diferencia existente entre la gelificación de las proteínas con la adición de la MTGasa esta relacionada con temperatura y tiempo de reacción, tipo de carne, presencia de algún otro aditivo y calidad de la proteína.

Los GCR incubados a 50 °C con la adición de 3 g/kg de la enzima 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 (Ramirez *et al.*, 2000a). Sin embargo al aumentar la temperatura de incubación a 60 °C, las propiedades mecánicas de los GCR disminuyeron significativamente sus valores. Esto se puede explicar por el aumento de la temperatura de incubación, el cual afecta la desnaturalización de las proteínas, iniciando una posible agregación entre la misma proteína, comenzando el proceso de precipitación disminuyendo 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).

La similitud de las tendencias presentadas en los parámetros de la prueba de punción con los parámetros del TPA, está relacionada definitivamente con las condiciones de incubación y la adición de la MTGasa. El incremento de los valores de la fuerza del gel y de cualquier otro valor de textura, estarán relacionados con la completa exposición de la lisina y glutamina como sustrato, para la formación de las redes tridimensionales por las uniones entre las proteínas adyacentes catalizadas por la MTGasa (Jong y Koppelman, 2002). Los geles incubados a 50 °C con 3 g/kg de MTGasa presentaron los valores más altos en la fuerza de gel, debido a que estas condiciones de incubación de los geles presentan las condiciones óptimas para una correcta desnaturalización de las proteínas, con su consecuente exposición de lisina y glutamina de las proteínas (Ramirez *et al.*, 2003). La desnaturalización de las proteínas por efecto de la temperatura se da en el momento en el que se rompen las estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias, con la consecuente desnaturalización y agregación de las proteínas. Si se aumenta el tiempo o temperatura de incubación se puede comenzar a presentar el fenómeno de la precipitación de las proteínas, evitando la formación de los geles, con lo cual se podría explicar la disminución de las propiedades mecánicas cuando se aumenta la temperatura de incubación a 60 °C. La adición de

enzima no presentó una diferencia significativa en los atributos de color, aunque fueron modificados principalmente por la temperatura de incubación.

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. Al utilizar un solo nivel de sal en el presente estudio para todos los tratamientos no hubo variaciones en la PC ni en la CRA por efecto de la sal. Aunque Pietrasik y Li-Chan, (2002) mencionan que, el uso de la MTGasa reduce favorablemente la pérdida por cocción. Mientras que Dondero *et al.*, (2006) reportan que conforme incrementa 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 ($P \geq 0.05$) entre el uso o no de la MTGasa en los valores de PC y CRA en los GCR en el presente estudio.

Conclusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que, la adición de 3 g/kg de MTGasa incrementa significativamente ($P \leq 0.05$) las propiedades mecánicas de los GCR. Al incubar los GCR a 50 °C durante 30 minutos con la adición de la enzima, aumentaron significativamente las propiedades mecánicas de los geles. Con lo cual se obtienen 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 PC y CRA.

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.

7.2. Condiciones óptima de incubación y efecto de la refrigeración después de la incubación

La adición de 3 g/kg de MTGasa presentó una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los controles de los tratamientos utilizados en este estudio, los cuales no fueron incubados para comparar el efecto de la incubación en las propiedades mecánicas de los GCR. Ramírez *et al.*, (2007) mencionan que la MTGasa cataliza la unión entre las proteínas, formando redes tridimensionales. La reacción dominante de este enzima, es la de catalizar el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular en presencia de aminos primarios. La enzima puede unir las aminos de las proteínas (Kuraishi *et al.*, 2001). Sin embargo el control con MTGasa registro niveles bajos de TPA y de la prueba de punción en comparación con los GCR incubados a diferentes temperaturas con la adición de la enzima. Estos valores menores presentados por el control en las propiedades de textura se pueden explicar por la falta de la desnaturalización de las proteínas cárnicas de res. 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 presentara 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 y 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 y Koppelman, 2002). La lisina contiene péptidos los cuales actúan como acyl aceptores y en ocasiones se presentan como acyl donadores (Jong y Koppelman, 2002). La MTGasa tiene la capacidad de unir aminoácidos o péptidos covalentes con las proteínas. Las condiciones de temperatura para la desnaturalización de las proteínas cárnicas de res no se presentaron en ninguno de los dos controles. Pero 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 controles con la adición de la enzima comparándolos con los controles sin la adición de la MTGasa en los parámetros de textura de los GCR. Ramirez *et al.*, (2003) asociaron el aumento en las propiedades mecánicas del surimi directamente tanto con la solubilización,

temperatura y velocidad de desnaturalización de las proteínas cárnicas, como con el efecto de la actividad de la enzima.

Por otro lado, la refrigeración posterior al tratamiento térmico durante la incubación, no modificó las propiedades mecánicas de los geles. 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 actino-miosina (proteínas miofibrilares) es la principal proteína de la carne y constituye el 55% del contenido total en la carne (Tornberg, 2005). Generalmente esta estructura está estabilizada por puentes de hidrógeno (Dickerson y Geis, 1969). Bendall y 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 y Findlay, 1991). El tiempo de exposición de las proteínas a un tratamiento térmico influye directamente en las condiciones de desnaturalización de la proteína. La incubación de los GCR a 50 °C durante 30 minutos y con la adición de 3 g/kg de MTGasa 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. Se relaciona esta disminución de las propiedades mecánicas de los GCR, por 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 con 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. 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 y Harris, 1982). La unión entre las proteínas adyacentes aumenta cuando se dan las condiciones óptimas de temperatura (Ramírez-Suarez y Xiong, 2003). Estas condiciones son modificadas por el tiempo y temperaturas de incubación. El aumento de las propiedades mecánicas de los GCR por efecto de la incubación y la adición de la MTGasa observado en este estudio es por la temperatura de desnaturalización de las proteínas cárnicas durante la incubación, con la

exposición de los sitios activos los cuales actuaran como sustrato para la enzima. Según Xiong y Brekke, (1990) la asociación entre proteínas comienza en un intervalo de 36-40 °C. Sharp y 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. Mientras que a los 40 °C no existían formas nativas de la miosina y había presencia de monómeros. A los 50 °C se presentaban claramente fuertes uniones entre proteínas.

Por otra parte, la refrigeración posterior a la incubación presentó mínimos cambios en las propiedades mecánicas de los GR. Aunque al incubar a 40 °C durante 30 minutos los GR presentaron una desnaturalización parcial de las proteínas cárnicas, con lo cual la unión entre las proteínas no fue completa, permitiendo a la enzima continuar con la catálisis de la unión de las proteínas que no se encontraban agregadas durante el periodo de refrigeración. Mientras que al incubar a 40 °C durante 60 minutos se permitió una mayor unión entre las proteínas del sistema, disminuyendo el sustrato libre para que la enzima continúe realizando su función durante la refrigeración. Las mismas condiciones se presentaron en los GR incubados a mayor temperatura (50 y 60 °C) y durante mayor tiempo (60 min), por lo cual no se obtuvo ningún efecto significativo por la refrigeración después del periodo de incubación.

Los parámetros de punción también se vieron aumentados por efecto de la incubación, encontrando su valor máximo en los GC incubados a 50 °C durante 30 minutos. Ramirez *et al.*, (2000b) dicen que la máxima actividad de la MTGasa y por lo tanto su funcionamiento óptimo como catalizador, se basa principalmente por la correlación en la concentración, tiempo y temperatura de incubación de la enzima. Al incubar a 50 °C se promueve la desnaturalización de las proteínas cárnicas. Aunado a 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. Ramírez *et al.*, (2000) mencionan que la máxima actividad de la MTGasa se presenta a una temperatura cercana a los 55 °C.

La diferencia en las características de gelificación de las proteínas en presencia de MTGasa esta relacionada con la temperatura y tiempo de reacción, tipo de carne, presencia de otros aditivos y calidad de las proteínas (Cofrades *et al.*, 2006). Por otro

lado, la refrigeración posterior al tratamiento térmico no modificó la fuerza de gel, deformación y fuerza de ruptura en los GR. Al aumentar de 50 a 60 °C la temperatura de incubación durante 30 minutos disminuyeron los valores de los parámetros de punción. Esta disminución 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 geificación de las proteínas (Lantto *et al.*, 2005).

No se presentó ninguna diferencia por las condiciones de incubación o por efecto de la MTGasa en los atributos de color de los GCR. El aumento en el tiempo de incubación independientemente de la temperatura, se tradujo en un aumento en los valores de hue para los CG. Serrano *et al.*, (2004) reportaron que la variabilidad en los atributos del color que presentaron la carne fresca reestructurada de res fue atribuida principalmente por el efecto de la refrigeración y almacenamiento. La principal variación del valor de hue de los GR se da por el aumento en el tiempo de incubación de los geles. Boles y 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 GR no mostró cambios significativos en los atributos del color. Esto se podría atribuir a que las condiciones de refrigeración utilizadas en este estudio no afectan la formación del color durante el periodo de cocción. Los cambios en la formación del color en los productos cárnicos principalmente se atribuyen a la acción del calor y comienza su estabilización a partir de los 65 °C. Los cambios producidos por la cocción de los alimentos se presenta principalmente en la textura, color y sabor de los alimentos (Brunton *et al.*, 2006). Por otro lado al utilizar un valor constante en la adición de sal en todos los tratamientos, se disminuye la variación del color entre los GCR. Dimitrakopoulou *et al.*, (2005) reportan que los niveles en la adición de NaCl afectan significativamente el color en la reestructuración de carne de cerdo. 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.

La adición de MTGasa no presentó ninguna diferencia en PC ni en la CRA de los GCR. Dondero *et al.*, (2006) mencionan que la pérdida por cocción aumenta conforme se aumenta la adición de la enzima. Ramírez *et al.*, (2002) encontraron una disminución sobre la capacidad de retención de agua en geles de pescado al utilizar la enzima. Por otra parte Pietrasik y Li-Chan, (2002) reportan, el uso de 5 g/kg de MTGasa reduce favorablemente la pérdida por cocción. La temperatura y tiempo de incubación así como la refrigeración en los GR no presentaron una diferencia significativa en la CRA y PC. Los resultados de la PC en GCR no presentaron aumentos o deficiencias por efecto de los diferentes tratamientos en este estudio.

Conclusión

Los resultados encontrados en el presente estudio permiten concluir que, al modificar las condiciones de tiempo y temperatura de incubación en los GCR tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas de los geles. Los resultados obtenidos muestran que la MTGasa presenta su mayor actividad cuando se incuba a 50 °C durante 30 min en GCR. La refrigeración después de la incubación modifica las propiedades mecánicas de los GCR cuando la desnaturalización de las proteínas por medio del calor es baja.

Por otro lado se necesita ampliar el estudio de la refrigeración después de la incubación en la reestructuración cárnica de res para comprender totalmente las condiciones y efectos de su uso.

7.3. Efecto de la interacción entre las condiciones de incubación y la concentración en la adición de la MTGasa

Los parámetros de la prueba de punción no fueron modificados por efecto de la incubación cuando no se adicionó MTGasa en los GC. El aumento presentado por los GR sin enzima no fue significativo con respecto a los controles de los GC. Al no existir ningún otro aditivo a excepción del NaCl, el cual fue adicionado en ambos casos a 2 g/kg, que promoviera la gelificación de las proteínas, el principal factor que incidió en la formación de los geles fue efecto de la temperatura de cocción (90 °C durante 15 min).

Las proteínas miofibrilares son el principal componente de la carne y el principal responsable de la gelificación (Siegel *et al.*, 1979). El efecto de las propiedades de textura de los productos cocidos puede ser modificado por los diferentes procesos de

cocción (Lawrie, 1998). El método y procedimiento de cocción son factores fundamentales en las características y calidad de los productos cocidos (Drummond y Sun, 2006).

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).

La simple adición de MTGasa aumenta las propiedades mecánicas de textura de los GCR, conforme fue aumentando el nivel de adición de la enzima los parámetros de textura fueron aumentando significativamente. Los geles con la adición de 5 g/kg de MTGasa presentaron los valores más altos de textura. Dondero *et al.*, (2006) utilizaron diferentes niveles de adición de MTGasa, con un mínimo de 0.0 g/kg y un máximo de 5 g/kg, encontrando los mejores resultados de textura con la adición al 3 g/kg de MTGasa. Mientras, Serrano *et al.*, (2004) utilizaron una concentración al 0.7 g/kg de enzima encontrando buenos resultados en la reestructuración de carne de res fresca con la adición de nueces.

El aumento de la temperatura de incubación disminuyó los valores de la fuerza de gel en los GC. Aktas y Kilic, (2005) mencionaron, 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.

Los geles incubados a 50 °C con 3 g/kg de MTGasa no presentaron diferencias significativas con los geles incubados a 60 °C con una mayor cantidad de MTGasa (5 g/kg), pero si con los geles incubados a 50 °C con la misma cantidad de enzima (5 g/kg). Lo cual indica que las necesidades de adición de la MTGasa estarán íntimamente relacionadas con las condiciones de incubación en los GCR y por lo tanto en los productos cárnicos cocidos de res.

El periodo de refrigeración no modificó las propiedades mecánicas de los GR. Estos resultados concuerdan con lo reportado anteriormente. El efecto de la MTGasa en la reestructuración a bajas temperaturas ha sido ampliamente estudiado. La investigación de la reestructuración con el uso de la enzima se hizo inicialmente en frío. Para la reestructuración de alimentos crudos durante la refrigeración es fundamental el uso de altas cantidades de sal (Jimenez *et al.*, 2005). Westort y Hultin (1996), demostraron que el uso de sal permite la liberación del contenido de las células musculares, originando 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 se 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 (Ramirez *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.

Para obtener el aumento máximo en los parámetros de fracturabilidad y dureza en los GCR, fue necesario estudiar la interacción de la temperatura de incubación y la concentración de la adición de la enzima, los cuales, son los principales factores que modifican las propiedades mecánicas de los gels. Al incubar a 50 °C durante 30 minutos se presenta las condiciones óptimas para que la MTGasa tenga su máxima acción. Elasticidad, cohesividad y masticabilidad presentaron las mejores propiedades mecánicas en los GCR con la adición máxima de enzima utilizada en este estudio. El periodo y las condiciones de incubación fomentaron el proceso del arreglo espacial de los polipéptidos al pasar de su estado nativo a uno desnaturalizado. Lo cual indica que la refrigeración no modifica las propiedades de textura en los GCR.

El incremento progresivo en la adición de la enzima a los GCR representó un aumento en las propiedades mecánicas. Kuraishi *et al.*, (2001) mencionaron que han sido reportados mejoras en las propiedades físicas de alimentos cuando la enzima cataliza la unión entre las proteínas. Lo cual es confirmado por Ramírez *et al.*, (2007) la adición de MTGasa cataliza la unión entre las proteínas, formando redes tridimensionales entre proteínas adyacentes. Mientras que los controles sin la adición

de la enzima, siempre presentaron las propiedades mecánicas y de textura más débiles en todo el estudio. Esto concuerda con lo reportado por Muguruma *et al.*, (2003), en donde mencionan que con el uso de la enzima y la aplicación de un tratamiento térmico en embutidos de pollo se obtuvieron mejores resultados que su respectivo control. En los tratamientos con diferentes concentraciones de enzima, siempre se presentaron los valores más bajos en los geles incubados a 40 °C. Las propiedades mecánicas de productos reestructurados de pescado están asociadas directamente con las condiciones de desnaturalización de las proteínas (Ramirez *et al.*, 2007). 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 y Parraf, (1997). Los cambios en la estabilidad térmica de las proteínas promueven la unión entre estas (Findlay *et al.*, 1989).

El efecto sinérgico entre el aumento en la adición de la MTGasa y la temperatura de incubación de los GCR presente en este estudio fue en los GC incubados a 50 °C con 5 g/kg de MTGasa. 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 la 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 y Kilic, 2005). Los GC incubados a 50 °C con la adición de 3 g/kg de MTGasa no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \geq 0.05$) con los GC incubados a 60 °C con una mayor adición de la MTGase (5 g/kg) en los parámetros de TPA. 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 y Koppelman, 2002). Los resultados indican que tanto las condiciones de incubación como la concentración de MTGasa modificaron las propiedades mecánicas de los GCR.

La pérdida por cocción y capacidad de retención de agua, 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 que presenta. Un aumento en la pérdida de agua puede estar originado por una gelificación incorrecta (Whiting, 1988). Los geles incubados a 60 °C en todos los tratamientos presentaron una disminución en la CRA. Por otro lado, la adición de MTGasa no presentó ninguna diferencia estadística ($P \geq 0.05$) en la CRA y PC. Carballo *et al.*,

(2006) mencionaron que varios autores han reportado que no existe un efecto de la adición de la enzima sobre 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 los GCR. Pietrazik y Shand, (2003) mencionan que al aumentar la estabilidad en la gelificación de las proteínas la pérdida de agua disminuye.

Los mínimos efectos presentados en los atributos de color de los GCR por efecto de la adición de la enzima o por el periodo de incubación se presentaron nuevamente en este estudio. La enzima no origina modificaciones en los atributos de color de los alimentos a los cuales se les adiciona. Tseng *et al.* (2000) mencionaron que el uso de la enzima no presentó ningún efecto sobre el color en la carne de pollo. Pietrazik, (2003) no observó ninguna influencia en los parámetros del color por efecto de la adición de MTGasa. Dimitrakopoulou *et al.*, (2005) mencionaron que los cambios en los atributos del color se dan principalmente por el nivel de la adición de sal. Al disminuir en 1 g/kg el nivel de sal en la carne de cerdo reestructurada fueron modificados los valores de L^* , a^* y b^* . La formación del color en los productos cárnicos cocidos es atribuida principalmente al efecto de la temperatura de cocción (Brunton *et al.*, 2006). Serrano *et al.*, (2004) mencionaron que la mayor variabilidad en la carne reestructurada de res fue por el efecto de la refrigeración durante el almacenamiento. Este cambio en los atributos de color durante la refrigeración Boles y Shand, (1999) lo atribuyen principalmente a los métodos de refrigeración utilizados.

Conclusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir, que tanto el aumento en la adición de la MTGasa, como la modificación de las condiciones de incubación incrementan significativamente ($P \leq 0.05$) las propiedades mecánicas de los GCR. Con una óptima incubación durante el periodo de reestructuración de productos cárnicos de res se pueden reducir los niveles necesarios de adición de la MTGasa. El efecto de la refrigeración posterior a la incubación no modificó ($P \geq 0.05$) las propiedades fisicoquímicas de los GCR.

7.4. Efecto de la interacción entre la adición de MTGasa y la carragenina en los GCR.

Se presentó un efecto estadísticamente significativo ($P \leq 0.05$) en los GCR con la adición de 7.5 g/kg de carragenina sin MTGasa. Los hidrocoloides pueden interactuar con las proteínas de la carne, ocupando los espacios intersticiales presentes en la matriz de gel (Lanier, 1991). Por otra parte, la adición de la MTGasa no presentó ninguna diferencia en los geles del grupo control. 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 y Harris, 1982). Por lo cual 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 (Ramirez *et al.*, 2000b). La formación de redes tridimensionales entre las proteínas aumenta con la incubación en condiciones óptimas de temperatura (Ramirez-Suarez y Xiong, 2003). Según Kim *et al.*, (1993) la ausencia del fenómeno del setting (unión) 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 y Sebranek, 1996). El grupo 1 de los GCR presentó un aumento ($P \leq 0.05$) en la textura por efecto en la adición de la carragenina. La interacción formada entre las proteínas de diferentes alimentos y la carragenina ha sido ampliamente estudiada; 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). El mayor efecto por la adición de la carragenina en los parámetros de fracturabilidad y masticabilidad fue en los geles con

7.5 g/kg de carragenina. Mientras que el máximo valor de dureza se presentó en los geles con 10 g/kg de carragenina. Xion *et al.*, (1999) reportaron un aumento en la dureza en las muestras de embutido de res con la adición de 50 g/kg. Mientras que Mittlan y Barbut, (1994) mencionaron que la adición de carragenina aumento la masticabilidad y cohesividad en salchichas, pero no la dureza.

La simple adición de 1 g/kg de MTGasa con un periodo de incubación a 50 °C durante 30 minutos modificó favorablemente todos los parámetros del TPA con respecto a los GCR del grupo 1, a los cuales no se les adicionó la enzima y los geles del grupo control, a los cuales si se les adicionó la enzima, pero no fueron incubados. 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 Ramirez *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. La miosina es la principal proteína cárnica responsable de la formación de geles por calor, presentado su desnaturalización alrededor de los 55 °C (Samejima *et al.*, 1985). Wrigth *et al.*, (1997) mencionaron que la temperatura de desnaturalización es a los 49.5 °C. La temperatura reportada para la desnaturalización de la miosina corresponde con el rango de temperatura óptima de activada de la MTGasa la cual es a 55°C (Ramirez *et al.*, 2000a) o a 50 °C (Anon, 1998). Los GCR fueron incubados a 50 °C para promover la correcta desnaturalización de las proteínas cárnicas de res. Dicha temperatura fue ampliamente estudiada y establecida como la temperatura óptima de incubación en el presente estudio. 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 la precipitación no se presentara.

Los resultados de las pruebas mecánicas del presente estudio muestran que hay un efecto significativo de la interacción entre la MTGasa y la carragenina sobre los parámetros de textura de los GCR. 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 y 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, mientras que con el uso de la MTGasa y carragenina Pietrazik, (2003), en el mismo estudio reportó un aumento significativo en los parámetros de TPA. Los resultados obtenidos en los geles del grupo 2 y 3 concuerdan con lo anterior. 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 presento aumentos en los parámetros de textura, sin embargo, con las condiciones óptimas de incubación, se pueden disminuir las cantidades necesarias de adición de MTGasa. Lo anterior fue mostrado en los geles del grupo 2, con la interacción de ambos aditivos y un óptimo periodo de incubación alcanzaron valores sin diferencia significativas ($P \geq 0.05$) en las propiedades mecánicas de los GCR con algunos geles del grupo 3, los cuales fueron adicionados con una mayor cantidad de MTGasa. La fuerza de gel y fuerza de ruptura aumentaron significativamente con el aumento progresivo de la cantidad en la adición de la carragenina. DeFreitas *et al.*, (1997), reporto que la carragenina aumenta la fuerza de gel, concluyendo que la interacción entre proteína/carragenina si se presenta.

La igualdad en los análisis estadísticos en los atributos de color de los GCR, indicaron que no existió en el presente estudio cambios importantes por efecto de los diferentes tratamientos. 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. La utilización de la MTGasa no repercutió en el color de los GCR. Lo cual concuerda con lo reportado por Pietrazik y Li-Chan, (2002) quienes observaron que la adición de MTGasa no presentó ninguna influencia en las parámetros de color.

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

Se presentó un aumento en la pérdida por cocción y en la CRA en los geles sin la adición de ningún aditivo. La adición de la MTGasa no origina efectos en ambos parámetros. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Kerry *et al.*, (1999) quienes mencionaron que la adición de enzima por sí sola, no presenta efectos en la pérdida por cocción. 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 Trespalacios y Reyes, (2007) 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 disminuyó. Cuando se disminuye la cantidad de sal se disminuyen las propiedades fisicoquímicas en los geles reestructurados de pescado (Tellez-Luis *et al.*, 2002). Dimitrakopoulou, *et al.* (2005) demostraron que la adición de sal mejoró las propiedades de retención de agua en productos reestructurados de puerco. Sin embargo cuando se adiciona la enzima junto con algún otro aditivo como el caseinato de calcio el porcentaje de pérdida por cocción disminuye (O'Kennedy, 2000). Los cambios más importantes en el presente estudio se presentaron al adicionar el hidrocoloide. La carragenina 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 retención de agua, disminuyendo significativamente el porcentaje de pérdida de agua después de un periodo de centrifugación, con lo cual se concluyó que la carragenina aumenta la CRA de los geles (Pietrazik, 2003). Lo cual concuerda con los resultados obtenidos, en donde la adición de la carragenina disminuyó el porcentaje de la PC y aumentó la CRA de los GCR.

Conclusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir; la adición por sí sola de la MTGasa mejora las propiedades de textura de los GCR, siempre y cuando se presenten las condiciones óptimas de incubación, sin presentar cambios importantes en la CRA, PC y atributos de color. Por otra parte la adición de carragenina presenta un aumento en las propiedades mecánicas de los geles. Este aumento se presentó por la capacidad de retener agua en el sistema de redes tridimensionales formadas en el gel. Con lo cual se pueden obtener aumentos en las propiedades fisicoquímicas de los GCR 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.

7.5. Elaboración de productos cárnicos reestructurados (Roast Beef y Nugget) adicionando MTGasa y carragenina.

En la actualidad los productos cárnicos reestructurados presentan 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 a sido necesario adicionar diferentes ingredientes, para solubilizar las proteínas como la sal (Urestie *et al.*, 2002), ligantes de agua como la carragenina (Pietrazik, 2003), catalizadores de la unión entre las proteínas como la MTGasa (Ramirez *et al.*, 2007). Actualmente la MTGasa ha sido estudiada en la elaboración de un gran numero de productos alimenticios reestructurados, como en la elaboración de salchichas tipo frankfurters (Jimenez *et al.*, 2005), productos reestructurados de pescado (Uresti *et al.*, 2003), doner kebab de carne de pollo (Kilic, 2003), embutidos de pollo (Muguruma *et al.*, 2003), surimi (Ramirez *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 dición 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 (Ramirez *et al.*, 2002). Y la reestructuración de pollo es a 40 °C durante 30 minutos a 500MPa (Trespacios y Reyes, 2007).

Los resultados de los estudios individuales anteriormente presentados en esta investigación, permitieron obtener las condiciones óptimas para la elaboración de productos cárnicos reestructurados de res con la adición de MTGasa. Los roast beef y nuggets reestructurados de res sin la adición de aditivos presentaron los valores más bajos de fracturabilidad, dureza y masticabilidad. En donde concuerda con los resultados en los GCR de la presente investigación y con lo reportado por Ramirez *et al.*, (2007), en donde explica el aumento en las propiedades mecánicas por la simple

adición de la enzima, ya que 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 (unión) 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 comparación de los roast beef y nuggets de marca comercial (piezas de alto valor económico) y los reestructurados con la adición de la enzima (piezas de bajo valor económico) mostraron una igualdad de significancia. La adición de 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 y 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, 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 y 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). Con lo cual tiene la capacidad de formar geles en condiciones de cocción y en refrigeración (Trius y 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. En donde la carragenina aumento las propiedades de retención de agua, con lo cual, se disminuyeron los porcentajes de pérdida por cocción y la pérdida de agua tras la centrifugación, y la MTGasa aumentó las propiedades mecánicas de los roast beef y nuggets reestructurados de res. Aunado 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 no presentaron un efecto significativo en los atributos de color.

Los roast beef y nuggets reestructurados de res con MTGasa y carragenina, presentaron la mayor aceptación por los jueces en los parámetros de apariencia 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 trabajo permiten concluir; es posible elaborar productos cárnicos reestructurados de res de calidad, utilizando cortes de bajo valor económico y comercial con la adición de MTGasa. Las condiciones óptimas de incubación y la adición de carragenina permiten reducir la cantidad mínima necesaria de adicción de MTGasa obteniendo resultados óptimos durante la elaboración de productos cárnicos de res.

8. BIBLIOGRAFÍA

Ajinomoto S.A. de C.V. (serial online) citado octubre 2007. <http://ajinomoto.com>

Aktas N. y Kilic B. 2005. Effect of microbial transglutaminase on thermal and electrophoretic properties of ground beef. *LWT-Food Science and Technology*, 38: 815-819.

Alan H. y Jane P. 1995. *Carne y productos cárnicos*. Zaragoza: ed. Acribia. España.

An H., Peters MY, Seymour TA. 1996. Roles of endogenous enzymes in surimi gelation. *Trends Food Science and Technology*, 7: 321-7.

Ando H., Adachi M., Umeda K., Matsuura A., Nonaka M., Uchio R., Tanaka H., Motoki M. 1989. Purification and characteristic of a novel transglutaminase derived from microorganisms. *Agriculture Biological Chemistry*, 53: 2613-2617.

Andrew J. 2001. *Food Texture. Measurement and perception*. Ed. Aspen Publisher inc.

Anon. 1998. *Basic properties of transglutaminase (information bulletin)*. Tecanek, NJ:Ajinomoto. USA, Inc.

Anton A., Luciano F. 2007. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4): 245-251

Anzaldúa-Morales A.1992. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza: Acribia.

Badui D. 2006. *Química de los alimentos*. 4^{ta} ed. México. Ed. Pearson Educación.

- 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.
- Barbut S. y Findlay J. 1991. Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle. *Journal of Food Science*, 56: 180-182.
- Bendall J. y 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.
- Boles J. y Shand J. 1999. Effects of raw binder system, meat cut and prior freezing on restructured beef. *Meat Science*, 53: 233-239.
- Bourne M. 1982. *Food texture and viscosity*. New York: Academic Press.
- 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.
- 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.
- 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
- Casp A. y Requena J. 2003. *Procesos de conservación de alimentos*. 2ª. ed. Mundi-Prensa. Madrid España.

- Cavallotti V. y Palacio V. 2003. La ganadería mexicana en el nuevo milenio: Situación, alternativas productivas y nuevos mercados. Departamento de Zootecnia y CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., p 117-132.
- 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.
- 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.
- Cozzolino A., Di Pierro P., Mariniello L., Sorrentino A., Masi P., Porta R. 2003. Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase. *Biotechnol Appl Biochem*,38:89–95.
- Cuq B., Gontard N., Gilbert S. 1997. Thermal properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by moisture content. *Polymer*, 38: 2399–2405
- Damodaran S., Parraf A. 1997. Food proteins and their application, Marcel Dekker, New York. 111–142.
- 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.
- Di Marco ON. 1998. Crecimiento de vacunos para carne Primera edición. Capítulo 5. Res, músculo y carne. Pág.183.
- Dickerson R. y Geis I. 1969. The structure and action of proteins. Ney York: Harper and Row, Inc.
- 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., y 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.
- 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.
- Dirección de estudios económicos. Consumos nacionales aparentes de productos pecuarios. México: SECOFI, BANXICO, SAGARPA, 2005.
- 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.
- Domínguez Z. 1995. La agroindustria de la carne (tesis de licenciatura). México D.F.: Universidad Autónoma de Chapingo.
- 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
- Drohan D., Tziboula A., McNulty D., Horne D. 1997. Milk protein–carrageenan interactions. *Food Hydrocolloids*, 11: 101–107.
- Drummond L. y 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.
- Findlay C., Parkin K., Stanley D. 1989. Differential scanning calorimetry can determine kinetics of thermal denaturation of beef muscle proteins. *Journal of Food Biochemistry*, 10: 1-15.

- Fomento para el consumo de carne en México (FOMECARNE).(serial online) citado 2006
Abril. <http://www.fomecarne.com.mx>
- 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.
- Goldberg M. 1991. *Biotechnology and food ingredients*. EUA: VNR.
- Hie-Jong K., Hyo S. 1999. Investigation of transglutaminase-induced peptide cross-linking. *Bull Korean Chemistry. Society*. Vol. 20. No. 11.
- 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.
- Jong G. y Koppelman S. 2002. Transglutaminase catalyzed reaction: impact on food application. *Journal of Food Science*, 67: 2798-2806.
- Kamath G., Lanier T., Foegding E., Hamman D. 1992. Nondisulfide covalent cross-linking of myosin heavy chain in setting of Alaska pollock and Atlantic croaker surimi. *Journal of food Biochemistry*, 16: 151-172.
- 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.
- Kilic B. 2003. Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken doner kebab. *Meat Science*, 63: 417-421.

- Kim S., Carpenter J., Lanair T., Wicker L. 1993. Polymerization of beef actomyosin induced by transglutaminase. *Journal of Food Science*, 58: 473–474.
- King N. y Harris P. 1982. Heat-induced tenderisation of meat by endogenous carboxyl proteases. *Meat Science*, 6: 137-148.
- 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.
- Kuraishi C., Yamasaki K., Susa Y. 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17: 221-246.
- 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.
- 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.
- Lawrie R. 1998. Woodhead Publishing, Cambridge (6th ed.)(Lee, Ed.). Marcel Dekker, Inc., New York, N.Y., U.S.A: 23- 40.
- Marcus K., Lund D. 2003. *Physical principles of food preservation*. 2nd ed. New york : M. Dekker.
- Meilgard M., Civille G., Carr B. 1991. *Sensory evaluation techniques*. 2^a edition. USA: ed. CRC Press, Inc.
- México. Situación actual. (serial online) citado octubre 2006. <http://agrinet.tamu.edu>

- Mittal G. y Barbut S. 1994. Effects of carrageenans and xanthan gum on the texture and acceptability of low fat frankfurters. *Journal of Food Processing and Preservation*, 18: 201–216.
- 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
- Motoki M. y Nio N. 1983. Crosslinking between different food proteins by transglutaminase. *Journal of Food Science*, 48: 561-566.
- Motoki M. y Seguro K. 1998. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 9: 204-210.
- 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
- Nakai S. y Li-Chan E. 1998. *Hydrophobic interactions in food systems*. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, U.S.A: 192.
- Nielsen P. 1995. Reactions and potential industrial applications of transglutaminase. Review of literature and patents. *Food Biotechnology*, 9: 119-156.
- Niwa E. 1992. *Chemistry of surimi gelation*. Surimi Technology.
- Norma Oficial Mexicana de emergencia NOM-EM-006-SSA1-2002. Productos y servicios. Especificaciones microbiológicas para productos procesados en los establecimientos dedicados al sacrificio, faenado de animales para abasto, corte, deshuese, envasado, almacén y expendio.

- Norma Oficial Mexicana. NOM-158-SCFI-2003. Jamón-Denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales, información comercial y métodos de prueba.
- 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.
- Onsoyen E. 1992. Thickening and gelling agents for food. Blackie academic and professional food.
- Paula H. y John F. 1999. The influence of added whey protein/carrageenan and tapioca starch on the textural properties of low fat pork sausage. *Meat Science*. 51: 43-52.
- Payne T. 2000. Transglutaminasa, una innovación tecnológica. Ajinomoto, Specials Ingredients with the Ajinomoto Touch.
- Pedrero D. y Pangborn R. 1986. Evaluación sensorial de los alimentos. México (DF): ed. Alhambra Mexicana.
- Pietrasik Z. y 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.
- Pietrazik Z. y 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.
- Pietrazik Z. 2003. Binding and textural properties of beef gels processed with k-carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase. *Meat Science*, 63: 317-324.
- Potter N. y Hotchkiss J. 1999. Ciencia de los alimentos. Zaragoza: ed. Acribia. España.

- Ramirez J. A. 1996. Gelificación de proteínas miofibrilares. *Revista de la Universidad Autónoma de Tamaulipas*, 47: 40-46.
- 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.
- 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.
- 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 Tecnología Alimentaria*, 3: 21-28.
- Ramirez J., Martha O., Martin-Polo., Bandman E. 2000c. Fish myosin aggregation as affected by freezing and initial physical state. *Food Chemistry and Toxicology*, 65: 556-560.
- Ramirez J., Rodriguez-Sosa R., Morales O., Vazquez M. 2003. Preparation of surimi gels from striped mullet (*Mugil cephalus*) using an optimal level of calcium chloride. *Food Chemistry*, 82: 417-423.
- 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.
- Ramirez-Suarez J. y Xiong Y. 2003. Effect of transglutaminase-induced cross-linking on gelation of myofibrillar/soy protein mixture. *Meat Science*, 65: 899-907.

- Reichert J. 2000. Ciencia y tecnología de los alimentos. Zaragoza: ed. Acribia.
- Ruiz F., Cavallotti V., Villegas A., Ramírez S., Armendariz M. 2001. Diagnóstico del sector pecuario. En. México Rural: Políticas para su reconstrucción. Editado por la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México.
- 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.
- Samejima K., Egelanddal B., Fretheim K. 1985. Heat gelation properties and protein extractability of beef myofibrils. *Journal of Food Science*, 50: 1540-1544.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2005. Programa nacional pecuario. México DF: Coordinación general de ganadería.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (serial online) citado 2006 Abril. <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Serrano A., Cofrades S., Jiménez C. 2004. Transglutaminase as binding agent in fresh restructured beef steak with added walnuts. *Food Chemistry*, 85: 423-429.
- Sharma R., Zakora M., Quvist K. 2002. Susceptibility of an industrial alphas-lactalbumin concentrate to cross-linking by microbial transglutaminase. *International Dairy Journal*, 12: 1005–12.
- Sharp A. & Offer G. 1992. The mechanism of formation of gels from myosin molecules. *Journal of Science Food and Agriculture*, 58: 63-73.
- 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.

- Stika J., Xiong Y., Suman S., Blanchard S., Moody W. 2007. Frozen storage stability of antioxidant-treated raw restructured beef steaks made from mature cows. *Meat Science*. Manuscript.
- Suarez-Domínguez H. y Tirado-Lopez Q. La ganadería bovina productora de carne en México. Situación actual. (serial online) consultado el 27 de Octubre de 2006. <http://agrinet.tamu.edu>.
- Szczesniak A. 1963. Clasification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28: 385-9.
- Tellez-Luis S., Ramirez J., Vazquez M. 2004a. Application in restructured fish products of transglutaminase obtained by *Streptoverticillum ladakanaum* in media made from hydrolysates of sorghum straw. *Food Microbiology and Safety*, 69: Nr. 1.
- 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.
- Tellez-Luis S., Gonzalez-Cabriaes J., Ramirez J., Vazquez M. 2004b. Production of transglutaminase by *Streptoverticillum ladakanum* NRRL-3191 grow on media made from hydrolysates of sorghum straw. *Food Technology*, 42: 1-4.
- Therkelsen G. 1993. Carrageenan. In R. L. Whistler, & J. N. BeMiller (Eds.), *Industrial gums: Polysaccharides and their derivates*. California: Academic Press: 145–180.
- Tornberg E. 2005. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70: 493-508.

- Trespalacios P. y Reyes P. 2007. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chemistry*, 100: 264-272.
- Trius A. y Sebranek J. 1996. Carrageenans and their use in meat products. *Food Science and Nutrition*, 36: 69–85.
- 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.
- Tseng T., Liu D., Chen M. 2000. Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meat-balls. *Meat Science*, 55: 427-431.
- Urbain W. y Campbell J. 1999. *La conservación de la carne*. Zaragoza: Ed. Acribia. España.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- Villamar A. 2004. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (serial online) citado Mayo 2007. <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Westort C. y Hultin H. 1996. A procedure for the preparation of empty cell segments from skeletal muscle using solutions of low ionic strength. *Anal. Biochemistry*, 16: 314-19.
- Whiting R. 1988. Ingredients and processing factors that control muscle protein functionality. *Food Technology*, 42: 104-110.
- Wright D., Leach I., Wilding P. 1997. Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituents. *Journal of Science Food and Agriculture*, 28: 557.
- Xiong Y. y Brekke C. 1990. Thermal transition of salt-soluble proteins from pre and post-rigor chicken muscles. *Journal of Food Science*, 55: 1540.
- 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.
- Yuguchi Y., Thuy T., Urakawa H., Kajiwarra K. 2002. Structural characteristics of carrageenan gels: temperature and concentration dependence. *Journal of Food Hydrocolloids*, 16: 515–522.
- Zhu Y., Rinzmena A., Tramper J., Bol J. 1995. Medium design based on stoichiometric analysis of microbial transglutaminasa production by *Streptomyces mobarensis*. *Biotechnol Bioeng*, 50: 291-8.