



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

DESARROLLO DE UN PRODUCTO REESTRUCTURADO DE CARNE DE RES TIPO ROAST BEEF MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TRANSGLUTAMINASA Y CASEINATO DE SODIO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JOSE FRANCISCO GARCIA ROMERO

Asesores:

**Dra. Adriana Llorente Bousquets
M. en A. Jorge López Pérez**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

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

Desarrollo de un producto reestructurado de carne de res tipo Roast Beef mediante la aplicación de transglutaminasa y caseinato de sodio

Que presenta el pasante: José Francisco García Romero
Con número de cuenta: 405008223 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de julio de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

| | NOMBRE | FIRMA |
|----------------------|---------------------------------------|-------|
| PRESIDENTE | Dra. Adriana Llorente Bouquets | |
| VOCAL | IA. Laura Margarita Cortazar Figueroa | |
| SECRETARIO | Dra. Carolina Moreno Ramos | |
| 1er. SUPLENTE | IA. Miriam Álvarez Velasco | |
| 2do. SUPLENTE | IA. Verónica Romero Arreola | |

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

**El presente Trabajo de Tesis de Investigación fue desarrollado en el
Laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria UIM de la
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

FESC-UNAM

Y del Proyecto DGAPA-PAPIIT IT 202312:

**“ESTRATEGIAS DE BIOCONSERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA CARNE Y SUS
PRODUCTOS”**

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a la **Dra. Adriana Llorente Bousquets** y al **M. en A. Jorge López Pérez** por aceptar realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este trabajo sino también en mi formación como persona. Agradezco también el haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias por todos los consejos, por los regaños, por su sabiduría y por todo el apoyo recibido. Gracias también por haber proyectado este trabajo en otros países.

A la **Ing. Zaira Guadarrama Álvarez**, por su disponibilidad y paciencia para realizar las pruebas de textura.

Al **Dr. José Luís Arjona Román** y a la **M. en C. Rosalía Meléndez Pérez**, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis, por sus substanciales sugerencias, sus conocimientos enriquecieron este trabajo.

A los miembros del H. jurado, por el tiempo y disposición dedicado a la revisión del proyecto.

DEDICATORIAS

La presente tesis se la dedico a mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera.

A mi madre **Verónica**.

Por ser el pilar más importante, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por sus valores, por madrugar y por desvelarse conmigo, por escucharme, por mimarme, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi padre **Adrián**.

Con profundo agradecimiento a ti papá, por ayudarme a la construcción de mi proyecto de vida, gracias por tu amor, por tu comprensión y por ser mi mejor amigo, eres quien hizo que todo esto fuera posible, a ti te debo gran parte de lo que soy.

A mi hermano **Rene**.

Que nunca titubeo para ayudarme y apoyarme en todo momento, gracias por tu tiempo, tu seriedad, tus consejos, tu apoyo incondicional y tu cariño.

A mis **Amigos**.

Que por medio de las discusiones y preguntas me hacen crecer en conocimiento, a Irvin, Ricardo, Víctor, Sergio, Mario, Miguel, Mario Alberto, Jair, ya que cada uno de ustedes, directa e indirectamente, ha sido fundamental en esta trayectoria académica y en mi vida, aunque entre amigos frecuentemente no damos las gracias, en ocasiones es necesario expresarlo, por eso les doy mil gracias por todo su apoyo brindado.

A todos aquellos familiares y amigos que me faltaron por mencionar, ustedes saben quiénes son.

RESUMEN

Durante el periodo 2005-2009 el consumo per cápita de carne de res mostro una disminución del 11% uno de los factores que provocaron esto fueron los altos costos de alimentación del ganado bovino. En México, el promedio anual pasó de 17 a 15 kilogramos por habitante, mientras que otras naciones tienen un consumo per cápita de 35 kilogramos. El productor de carne de res en México tiene una brecha importante, la cual se convierte en oportunidad de negocio al tomar en cuenta los atributos de la materia prima que requiere la industria y los aspectos que percibe el consumidor final para mejorar la calidad de la carne en términos redituables. El bajo costo de la carne de recorte ha favorecido el desarrollo de nuevos alimentos de alto valor agregado. La funcionalidad de la carne de res facilita su utilización en productos cárnicos procesados, los cuales son formulados con diversos ingredientes, además de la adición de enzimas de actividad reestructurante una de estas enzimas es la Transglutaminasa. Esta enzima induce la formación de enlaces covalentes que mejoran la estructura y estabilidad en combinación con tratamientos físicos que permiten productos con un alto potencial de venta en el mercado. El objetivo de este trabajo fue el de evaluar el efecto de la aplicación de la enzima Transglutaminasa (MTGasa) y Caseinato de Sodio en el desarrollo de un producto reestructurado de res tipo Roast Beef, Se utilizó un diseño experimental factorial de 3x2 para el desarrollo de lotes de reestructurados de carne de res adicionando enzima MTGasa (0.1%, 0.3%, 0.5%) y Caseinato de Sodio (1%, 3%, 5%) sometiendo un lote a tiempo de reposo (12hrs) y otro lote no tuvo tiempo de reposo. Una vez preparados los lotes fueron envasados en bolsas de polietileno y posteriormente se almacenaron en refrigeración a 4°C para posteriormente evaluar su estabilidad mediante la medición de pérdida de peso, textura y color. Se seleccionó el tratamiento que ofreciera las mejores características de estabilidad, para posteriormente analizar su comportamiento frente al tratamiento térmico, la muestra se colocó en un horno eléctrico hasta alcanzar una temperatura de 68°C en su centro térmico, posteriormente se almaceno en refrigeración a 4°C y se evaluó la pérdida de peso, textura y color. Los productos reestructurados de carne de res presentaron una menor pérdida de peso al ser sometidos a tiempo de reposo además de presentar mayores valores de dureza, fracturabilidad y cohesividad. En el color solo se observó diferencia significativa al someter los reestructurados cárnicos al tratamiento térmico.

INDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| INDICE DE FIGURAS..... | 8 |
| INDICE DE TABLAS..... | 9 |
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| CAPITULO 1 MARCO TEORICO | |
| 1. ANTECEDENTES..... | 12 |
| 1.1. La Industria Cárnica en México | 12 |
| 1.1.1. Carne..... | 13 |
| 1.1.1.1. Estructura del tejido muscular esquelético..... | 14 |
| 1.1.1.2. Composición química de la carne..... | 15 |
| 1.1.2. Clasificación de los productos cárnicos..... | 19 |
| 1.2. Productos cárnicos reestructurados | 22 |
| 1.2.1. Elaboración de reestructurados cárnicos..... | 24 |
| 1.2.2. Tipos de reestructurados cárnicos..... | 26 |
| 1.2.3. Factores que afectan la textura de los productos reestructurados..... | 28 |
| 1.2.3.1. Factores asociados a la composición de los productos reestructurados..... | 28 |
| 1.2.3.2. Factores tecnológicos..... | 29 |
| 1.2.3.3. Factores implicados en la solubilidad de las proteínas..... | 31 |
| 1.3. Transglutaminasa | 31 |
| 1.3.1. Transglutaminasa microbiana (MTGasa)..... | 32 |
| 1.3.1.1. Factores que influyen en la actividad enzimática..... | 34 |
| 1.3.1.2. Aplicación de la MTGasa en productos cárnicos..... | 35 |
| 1.4. Ingredientes Funcionales | 36 |
| 1.4.1. Caseinato de Sodio..... | 36 |
| 1.5. Propiedades físicas de los productos reestructurados | 37 |
| 1.5.1. Color..... | 37 |
| 1.5.2. Textura..... | 38 |
| 1.5.3. Rendimiento..... | 39 |
| 1.5.3.1. Pérdida de peso por tratamiento térmico..... | 39 |

CAPITULO 2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

| | |
|---|----|
| 2.1. OBJETIVOS..... | 40 |
| Objetivo General..... | 40 |
| Objetivos Particulares..... | 40 |
| 2.2. CUADRO METODOLOGICO | 41 |
| Objetivo 1..... | 42 |
| 2.3. Elaboración del gel cárnico..... | 42 |
| 2.4. Análisis de las pérdidas de peso..... | 43 |
| 2.5. Análisis de perfil de textura..... | 44 |
| 2.6. Análisis de Color..... | 45 |
| Objetivo 2..... | 46 |
| 2.7. Elaboración del reestructurado de res tipo Roast Beef..... | 46 |
| 2.7.1. Formulación del reestructurado tipo Roast Beef..... | 46 |
| 2.8. Tratamiento térmico..... | 47 |
| 2.9. Análisis de pérdidas de peso, perfil de textura y color..... | 47 |

CAPITULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| Objetivo 1..... | 48 |
| 3.1. Concentración de MTGasa-Caseinato y efecto del tiempo de reposo..... | 48 |
| 3.1.1. Pérdidas de peso..... | 48 |
| 3.1.2. Perfil de Textura..... | 51 |
| 3.1.3. Color..... | 57 |
| Objetivo 2..... | 60 |
| 3.2. Comportamiento de la mezcla frente al tratamiento térmico..... | 60 |
| 3.2.1. Pérdidas de peso..... | 60 |
| 3.2.2. Perfil de textura..... | 62 |
| 3.2.3. Color..... | 65 |
| CONCLUSIONES..... | 71 |
| RECOMENDACIONES..... | 72 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 73 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Tipos de músculo..... | 14 |
| Figura 2. Distribución de las bandas A, I, H y Z en un corte de tejido muscular esquelético..... | 15 |
| Figura 3. Ejemplos de productos reestructurados cárnicos..... | 24 |
| Figura 4. Resumen del proceso de elaboración de reestructurados cárnicos. (Adaptado de Booren y Mandingo, 1987; Secrist, 1987; Cambero et al., 1991; Sheard, 2002)..... | 25 |
| Figura 5. Diagrama de bloques para la elaboración de los geles cárnicos..... | 42 |
| Figura 6. Equipo Instron 4411. A: Celda de carga, B: Plato para muestra, C: Panel de control, D: Boton subir/bajar..... | 44 |
| Figura 7. Medición de color con el equipo Minolta..... | 45 |
| Figura 8. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la pérdida de peso..... | 48 |
| Figura 9. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la dureza..... | 51 |
| Figura 10. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la fracturabilidad..... | 52 |
| Figura 11. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la cohesividad..... | 53 |
| Figura 12. Pantalla inicial del software BabelColor CT&A para el análisis de color..... | 59 |
| Figura 13. Escala de colores obtenida mediante BabelColor CT&A para los tratamientos..... | 59 |
| Figura 14. Efecto del tratamiento térmico en la pérdida de peso..... | 61 |
| Figura 15. Efecto del tratamiento térmico en la dureza de los reestructurados tipo Roast Beef..... | 62 |
| Figura 16. Efecto del tratamiento térmico en la fracturabilidad de los reestructurados tipo Roast Beef..... | 63 |
| Figura 17. Efecto del tratamiento térmico en la cohesividad de los reestructurados tipo Roast Beef..... | 64 |
| Figura 18. Posición de color donde se muestra la diferencia entre tratamientos..... | 66 |
| Figura 19. Colores de los tratamientos obtenidos mediante BabelColor CT&A..... | 67 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Número de preparaciones con las diferentes concentraciones de MTGasa y Caseinato de Sodio | 43 |
| Tabla 2. Formulación para Roast Beef | 46 |
| Tabla 3. Anova, pérdidas de peso en el tratamiento con reposo | 49 |
| Tabla 4. Comparaciones de Tukey de las pérdidas de peso en el tratamiento con reposo | 49 |
| Tabla 5. Anova, pérdidas de peso en el tratamiento sin reposo | 49 |
| Tabla 6. Comparaciones de Tukey de las pérdidas de peso en el tratamiento sin reposo | 50 |
| Tabla 7. Esquema de diferencias significativas ($\alpha=0.05$) comparaciones múltiples de Tukey para las pérdidas de peso | 50 |
| Tabla 8. Anova, dureza en el tratamiento con reposo | 53 |
| Tabla 9. Comparaciones de Tukey de la dureza en el tratamiento con reposo | 54 |
| Tabla 10. Anova, dureza en el tratamiento sin reposo | 54 |
| Tabla 11. Comparaciones de Tukey de la dureza en el tratamiento sin reposo | 55 |
| Tabla 12. Comparaciones de Tukey en el tratamiento con reposo | 56 |
| Tabla 13. Comparaciones de Tukey en el tratamiento sin reposo | 56 |
| Tabla 14. Esquema de diferencias significativas ($\alpha=0.05$) comparaciones múltiples de Tukey para los parámetros de textura | 57 |
| Tabla 15. Parámetros de color para el tratamiento con reposo | 57 |
| Tabla 16. Parámetros de color para el tratamiento sin reposo | 58 |
| Tabla 17. Anova, diferencia total de color (ΔE) del tratamiento con reposo | 58 |
| Tabla 18. Anova, diferencia total de color (ΔE) del tratamiento sin reposo | 58 |
| Tabla 19. Parámetros de color para los productos reestructurados con tratamiento térmico | 65 |
| Tabla 20. Parámetros de color para los productos reestructurados sin tratamiento térmico | 65 |

INTRODUCCIÓN

El uso de todos los cortes de la canal de bovino para la elaboración de productos cárnicos, constituye un punto crítico en cuanto al rendimiento de la carne ya que los procesadores de alimentos constantemente tratan de usar nuevas tecnologías que les permitan desarrollar productos al menor costo posible (Fort *et al.*, 2008). Una metodología que disminuye los costos 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 reestructuración de la carne ofrece una gran variedad de ventajas no solamente para los consumidores que obtienen productos a un menor costo, sino también para la industria cárnica permitiendo mejorar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados (Serrano *et al.*, 2004).

Actualmente existen diversos aditivos que permiten llevar a cabo la reestructuración de los alimentos y que además mejoran sus propiedades funcionales (Dondero *et al.*, 2006). La adición de ingredientes no cárnicos modifica las propiedades de reestructuración de la carne (Doerscher *et al.*, 2003). Uno de esos aditivos es la Transglutaminasa microbiana o MTGasa, que ha sido estudiada en los últimos años y cada vez se comprueba su alta efectividad (Kigsley *et al.*, 2008). La reacción dominante de esta enzima, es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular (Ramírez *et al.*, 2005). Al no tener características sensoriales apreciables no repercute directamente en el sabor, color u olor de los alimentos; sin embargo, modifica favorablemente las propiedades de textura, cohesión y reestructuración de los productos (Hie-Jong *et al.*, 1999).

La adición de MTGasa a nivel industrial representa un alto costo, por lo cual es necesario estudiar las concentraciones óptimas de utilización, mejorando su funcionamiento para fomentar su completo uso a nivel industrial.

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. Por ello, la finalidad de esta investigación será determinar el efecto de Transglutaminasa-Caseinato de sodio en carne de res, que permita la elaboración de productos reestructurados que presenten las menores pérdidas de peso y parámetros texturales adecuados para este tipo de producto a temperaturas de tratamiento térmico; lo cual permitirá la utilización de cortes cárnicos de bajo valor económico, proporcionándoles valor agregado (Fort *et al.*, 2007), disminuyendo los costos de elaboración del producto e incrementando el rendimiento de la producción. Actualmente, este tipo de producto que se maneja a temperatura de refrigeración (4°C) previo a su consumo (Serrano 2006), sólo se comercializa en tiendas especializadas y no procede propiamente de una reestructuración, sino que forma parte íntegra del músculo; por ello, al realizar la reestructuración a partir de carne de recorte se lograría tener un producto de buena calidad a un menor precio y así estaría a mayor disponibilidad de más personas.

CAPITULO 1 MARCO TEORICO

1. ANTECEDENTES

1.1. La Industria Cárnica 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 la tecnología prácticamente en todas las actividades productoras de carne, ha resultado en la disminución de los costos y aumentos de producción (Cavallotti y Palacios 2003). Un factor importante en la producción de carne ha sido la apertura comercial, que se origina con el ingreso de México a la Organización Mundial de Comercio (OMC), y su complementación en 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 ha inducido la modernización de los sistemas productivos y el abasto de la población consumidora; sin embargo las prácticas desleales de 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 e inicios de los ochenta, la producción de cárnicos en México registró un crecimiento sostenido cercano al 12% anual. Sin embargo en el periodo de 1991-1995, la producción se contrajo hasta un 4% anual. En 2003 la ganadería bovina mexicana produjo 1, 496 500 toneladas de carne, prácticamente 2.3% más 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 de solamente 2% (SAGARPA 2009).

A principios de los noventa la producción de carne en México se componía de 41% de bovino, 28% de porcino y 28% de pollo. A partir del 2003 dicha proporción se transformó radicalmente a 45% carne de pollo, 31% de bovino y 22% de porcino, manteniéndose el resto de las carnes en el orden del 2% y 3% (SAGARPA 2009).

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 la 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 aparente nacional de carne de res en el 2003 mostró en los últimos años un decremento del 7% lo que aproximadamente equivale a 1,653 278 toneladas. La tasa media de consumo anual 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, la carne de porcino, con una tasa media de 3.8% y la carne de pollo, con una tasa media de 8.1%. La carne de bovino no ha mantenido una tendencia específica en la última década, ya que ha mostrado crecimiento de hasta 13.8% en 1994 y decrementos como en el 2005 de 8.1% o el actual de 2.9% (SAGARPA 2009).

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 (Suárez *et al.*, 2006).

1.1.1. Carne

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

En la Figura 1, se presentan los tres tipos de músculos que existen:

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

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

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

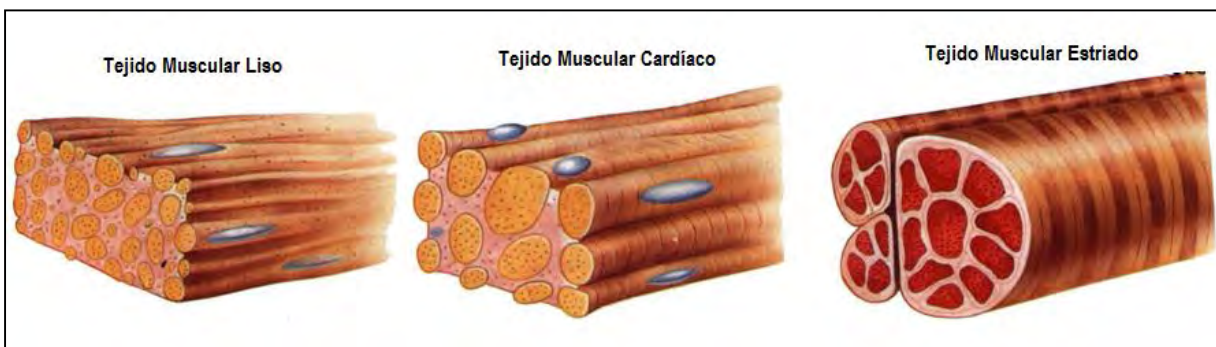


Figura 1. Tipos de músculo

FUENTE: Hui et al., 2005

1.1.1.1. Estructura del tejido muscular esquelético:

Es una estructura estriada debido a las miofibrillas. Las estriaciones se deben a la disposición de dos tipos de filamentos: gruesos y delgados. En la Figura 2 se observan este tipo de bandas. Las bandas oscuras (bandas A) son en las que predominan los filamentos gruesos. Las bandas claras (bandas I) son las que

predominan en los filamentos delgados. La banda H solo tiene filamentos gruesos y su tamaño dependerá de la contracción del músculo. La zona de inserción de los filamentos delgados es la línea Z. La línea M es la zona central de los filamentos gruesos. La unidad estructural de una miofibrilla es la que va de una línea Z a otra y se denomina sarcómero (Prändl, 1999).

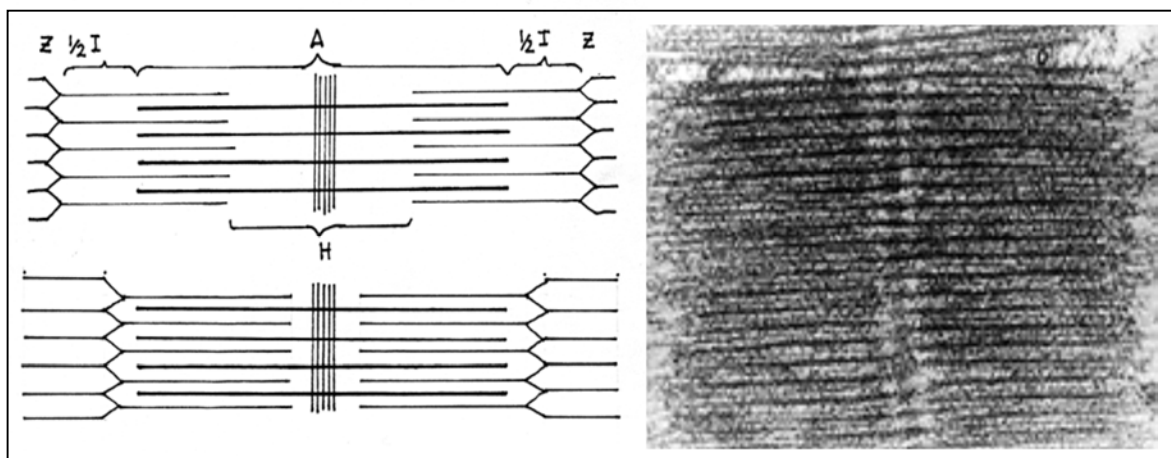


Figura 2. Distribución de las bandas A, I, H y Z en un corte de tejido muscular esquelético

FUENTE: Price et al., 2001

1.1.1.2. Composición química de la carne:

Agua: Su cantidad varía dependiendo de la especie, la edad, el sexo y la zona anatómica del tejido. La variación de la cantidad de agua está directamente relacionada con la variación de la cantidad de grasa. La cantidad de agua en la carne oscila entre el 60% y el 80% y está relacionada con la jugosidad y otros atributos sensoriales como la textura el color o la dureza de la carne (Libby 1981, Judge 1988, Gracey 1989, Prändl 1999, Price 2001).

Proteínas miofibrilares: Comprende entre 65% y 75% del total de las proteínas del músculo. Las más importantes son la actina, que es el principal componente de los filamentos delgados, y la miosina, principal componente de los elementos gruesos. Se encuentran en la carne como actomiosina aunque esto es solo cuando se presentan contracciones.

- Miosina: Son el 50% aproximadamente de las proteínas miofibrilares; su molécula está compuesta por dos cadenas pesadas (meromiosina) y cuatro cadenas ligeras. Las dos cadenas pesadas forman la cola y una estructura fibrilar. Las cadenas ligeras forman la cabeza y tienen una estructura globular. Las cadenas ligeras tienen un centro activo ATPasa. Las cabezas son las que se van a unir y separar rápidamente de la actina. El punto isoeléctrico de la miosina es a un pH de 5.3.
- Actina: Es la parte fundamental de los filamentos delgados. Es globular (contiene prolina) que se denomina actina G. Forma filamentos que se denominan actina F. Dos filamentos de actina F enrollados es la base los filamentos delgados. Supone el 25% de las proteínas miofibrilares y su punto isoeléctrico está en torno a un pH de 4.7.
- Tropomiosina: Representa entre el 8% y el 12% de las proteínas miofibrilares. Tiene estructura fibrilar y forma parte del filamento delgado sobre la actina y en ocasiones se une a ella.
- Troponina: Está presente en un bajo porcentaje, es globular y se encuentra en los filamentos delgados a la altura de la unión de la Tropomiosina con la actina. Está implicada en procesos de regulación de la contracción muscular.
- Proteína C: Se encuentra en un 2% y al igual que otras muchas proteínas de alto peso molecular tienen una función estructural (Libby 1981, Judge 1988, Gracey 1989, Prändl 1999, Price 2001).

Proteínas sarcoplásmicas: Corresponde aproximadamente del 30% al 35% del total de proteínas del músculo, se encuentran en el citoplasma de la fibra muscular. La más importante es la mioglobina que según sea su estado y cantidad, será el color de la carne. La mioglobina es una heteroproteína ya que está constituida de una parte proteica (globina) y una parte no proteica (grupo hemo). La globina está formada por segmentos de alfa hélices dobladas en ocho segmentos. Dentro de la globina se encuentra el grupo hemo que es una protoporfirina (4 anillos pirrólicos con un átomo de hierro en el centro). La estabilización del grupo hemo dentro de la

molécula se hace por enlaces salinos, puentes de hidrogeno e interacciones hidrofóbicas. La cantidad de mioglobina en la carne dependerá de distintos factores.

- La hemoglobina es un tetrámero de la molécula de mioglobina y llega al músculo a través de los capilares sanguíneos de la carne, por lo que se encuentra en forma residual (Libby 1981, Judge 1988, Gracey 1989, Prändl 1999, Price 2001).

Grasas: Su contenido en la carne va a ser muy variable y va a depender de la relación grasa – agua. Todo lo que hay en el agua, proteínas, sales etc. variará si aumenta o disminuye la cantidad de grasa. Esta grasa se va a acumular en cuatro depósitos:

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

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

Carbohidratos: Su cantidad apenas alcanza el 1% en la carne, siendo el glucógeno el más importante. El glucógeno es un polímero de alfa-D-glucosa con enlaces (alfa 1-4) y (alfa 1-6). Es la fuente de energía del músculo formando parte del glucógeno consumido en el *rigor mortis* (Libby 1981, Judge 1988, Gracey 1989, Prändl 1999, Price 2001).

Minerales: La carne, constituye una fuente importante de minerales esenciales en la dieta por su aporte de hierro, cinc, cobre, yodo, fósforo, etc., además de otros elementos traza, como selenio y magnesio. La carne es pobre en calcio a excepción de la recuperada mecánicamente y algunos tipos de carne deshuesada.

Entre los minerales aportados por la carne, destaca el hierro, no sólo por su cantidad, sino por su biodisponibilidad (no alterada por el cocinado). Dos terceras partes del hierro de la carne se encuentra en forma hemo (presente en la hemoglobina y mioglobina), cuya eficacia de absorción es de 2 a 3 veces mayor que la del hierro no hemo (de los vegetales). La absorción de hierro no hemo es inhibida por la fibra, además de otros minerales (cinc, cobalto, cobre) y es aumentada por la vitamina C (ácido ascórbico) (Hallberg *et al.*, 1989) y la carne (BNF, 1999) (Mulvihill, 2004). Se ha sugerido que en un futuro la carne podría ser considerada y comercializada como alimento funcional por este motivo (Mulvihill, 2004).

La deficiencia de hierro provoca anemia ferropénica, que es uno de los principales problemas de salud pública al afectar entre 20-50 % de la población mundial (Walker, 1998; Beard y Stoltzfus, 2001). Además, provoca carencias en el desarrollo psicomotor en niños, efectos adversos en el desarrollo del feto durante el embarazo y disminución de la capacidad de trabajo (Cook, 1999).

Alrededor del 14% al 22 % del hierro de la dieta procede del consumo de carne y sus derivados (Higgs, 2000). Éstos, además, incrementan la absorción del hierro procedente de otros alimentos de la dieta (Mulvihill, 2004). Por ello, una reducción en el consumo de carnes podría dar lugar a que un tercio de las mujeres tengan ingestas insuficientes de hierro por debajo de la ingesta recomendada (IR) 8 mg/día tanto para hombres como mujeres postmenopáusicas y 18 mg/día para las mujeres en edad fértil (Moreiras *et al.*, 2003) dando lugar a anemia (Higgs, 2000).

La carne es una fuente importante de cinc de mayor biodisponibilidad que la de los productos de origen vegetal, como las leguminosas, en los que además su absorción se encuentra inhibida por la presencia de oxalatos y fitatos (Johnson y Walter, 1992; Zheng *et al.*, 1993; Hunt *et al.*, 1995). El cinc participa en reacciones de síntesis o degradación de proteínas, hidratos de carbono, lípidos y ácidos nucleicos. Además, interviene en la composición y actividad de más de 200 enzimas.

También participa en la estabilización de la estructura de las proteínas y de los ácidos nucleicos, en la integridad de los orgánulos subcelulares, además de en procesos de transporte, funciones inmunológicas y en la expresión de la información genética (Aggett y Comerford, 1995; Sandstead 2000). Se considera un elemento

importante en la prevención de ciertos tipos de cáncer (Biesalski, 2005). Su carencia produce diversas enfermedades, como el enanismo (por ser fundamental para el crecimiento) y para la cicatrización de las heridas (Sandstead *et al.*, 1990). Las deficiencias en este mineral son bastante frecuentes en la población de la tercera edad, tramo poblacional en continuo aumento y sus consecuencias en la salud están aún por determinar. La carne es la principal fuente de cinc en los países occidentales, ya que alrededor del 27 % del ingerido en la dieta es de origen cárnico, lo que representa más del 20 % de la IR de este mineral (15 mg/día) (Moreiras *et al.*, 2003).

Por tanto, sin un adecuado aporte de carne pueden aparecer deficiencias nutricionales de este mineral (BNF, 1999), pudiendo llegar a convertirse en un problema de salud pública (Sandstead, 1995).

1.1.2. Clasificación de los productos cárnicos

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

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

La aplicación de un tratamiento térmico a los productos cárnicos es la principal característica que permite una división primaria de estos en productos crudos y productos elaborados con calor (Urbain, 1999).

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

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

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

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

B. Productos cárnicos crudos: Son los elaborados con carne, vísceras o sus mezclas, que pueden ser o no curados o madurados, y que no son sometidos a *algún tratamiento térmico; en esta categoría se incluyen:*

1. *Productos cárnicos crudos frescos. Son los productos crudos elaborados con carne y grasa molida, con adición o no de subproductos, extensores y/o aditivos permitidos, que pueden o no ser embutidos, curados y ahumados. Incluyen: hamburguesas, longanizas, butifarra fresca de cerdo, picadillo extendido, masas crudas y otros.*
2. Productos cárnicos madurados: a los que son sometidos a deshidratación parcial, pudiendo ser ahumados o no, sometidos durante cierto tiempo a la acción de cultivos microbianos o enzimas o microorganismos propios de la carne y su acción sobre azúcares añadidos o no. Pueden ser en cortes enteros o troceados. Incluyen: chorizos, salamis, jamón crudo, pepperoni.
3. Productos cárnicos crudos salados. Son los productos crudos elaborados con piezas de carne o subproductos y conservados por medio de un proceso de salado, pudiendo ser curados o no, ahumados o no y secados o no. Incluyen: tocino y tasajo.

C. Productos cárnicos tratados con calor (cocidos): A los elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no, que son sometidos a proceso térmico. Pueden presentarse enteros, en cortes, emulsionados o troceados.

1. Productos cárnicos embutidos y moldeados. Son aquellos elaborados con un tipo de carne o una mezcla de 2 o más carnes y grasa, molidas o picadas, con adición o no de subproductos, extensores o aditivos permitidos, colocados en tripas naturales, artificiales (fundas) o moldes y que se someten a uno o más de los tratamientos de curado, secado, ahumado y tratamiento térmico.
2. Piezas íntegras curadas y ahumadas. Son los productos cárnicos elaborados con piezas anatómicas íntegras y aditivos permitidos, con adición o no de extensores, en los procesos de ahumado, curado y tratamiento térmico. Incluyen: jamones, lomo, ahumado y otros.
3. Productos cárnicos semielaborados. Son los elaborados con carne molida, picada o en piezas, con adición o no de tejido graso, subproductos extensores y aditivos permitidos, que han recibido un tratamiento térmico durante su elaboración, pero que necesitan ser cocinados para consumirlos. Incluyen: croquetas, productos reconstituidos (“reestructurados”), productos conformados (palitos de carne, nuggets) y productos semicocidos.
4. Conservas cárnicas. Son la carne o los productos cárnicos que se tratan adecuadamente con calor en envases cerrados, herméticos, que pueden ser latas, pomos, tripas artificiales, o bolsas de material flexibles y que pueden ser almacenadas por un largo tiempo. Las conservas pueden elaborarse con carne y/o subproductos, con la adición o no de tejido graso, extensores y aditivos permitidos.

La clasificación puede ser útil tanto para los industriales como para aquellas entidades que se ocupan de la compra, venta, distribución y control sanitario de los productos cárnicos en el país (Venegas, 1999; NOM-213-SSA1-2002. Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba).

1.2. Productos cárnicos reestructurados

Los productos reestructurados son aquellos productos elaborados a partir de materias primas cárnicas que tras un cierto proceso de desintegración estructural (troceado, picado, etc.), son sometidas a diversos tratamientos de reestructuración, a fin de impartirles las características propias de los productos que pretenden imitar: filetes, porciones magras, carne para asar, etc. Suelen ser comercializados como productos crudos (refrigerados o congelados) y precocinados o cocinados (Mandingo, 1988; Cambero *et al.*, 1991). La elaboración de los reestructurados se fundamenta en procesos tecnológicos que permiten obtener productos con diferente composición química, tamaño de partícula e ingredientes no cárnicos, dando lugar a productos diferentes de la carne de la que proceden.

Como se ha señalado anteriormente en la introducción, una de las mayores posibilidades para modificar la composición de los derivados cárnicos y obtener nuevos productos, deriva de los procesos de reformulación. En este sentido se han llevado a cabo numerosos estudios, realizados principalmente en productos tipo emulsión como salchichas, mortadelas, hamburguesas, etc.; sin embargo, los productos reestructurados han sido poco estudiados a pesar de las ventajas y posibilidades que ofrecen.

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 consumo nacional aparente (CNA) de productos cárnicos de bovino son problemas añadidos, sin dejar de lado 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 y res, entre otros (Uresti *et al.*, 2004). Muchos de estos productos se comercializan congelados, enlatados, salados etc.

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; 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 atiende a 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. La transformación de cortes y recortes de bajo valor comercial en nuevos productos de elevado valor agregado, aumenta con la reestructuración 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 (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 muy satisfactorios en las características de los productos elaborados.

Con las recientes investigaciones de una enzima llamada Transglutaminasa, se pueden utilizar nuevos sistemas de reestructuración en diferentes condiciones, abriendo la posibilidad de obtener alimentos crudos o procesados de elevada calidad (Jiménez *et al.*, 2005).

En la Figura 3, se muestran dos ejemplos de productos reestructurados. A la izquierda filete de res regenerado a partir de trozos del despiece cárnico, a la derecha filete de salmón-atún.



Figura 3. Ejemplos de productos reestructurados cárnicos

FUENTE: Chadzilla 2006

1.2.1. Elaboración de reestructurados cárnicos

El proceso de elaboración de reestructurados cárnicos como se observa en la Figura 4, implica operaciones de adecuación de la materia prima cárnica, reducción del tamaño de la misma, mezcla con los distintos ingredientes y moldeado del producto, entre las más importantes.

Preparación de la materia prima cárnica. Previo a la desintegración estructural de la materia prima se realiza una serie de operaciones encaminadas a eliminar el exceso de grasa, la presencia de hueso, tendones, etc., así como a reducir los efectos de la dureza y mejorar la eficacia del resto de etapas.

Para conseguir un mejor aprovechamiento de las porciones cárnicas de mayor dureza, se pueden emplear métodos físicos de ablandamiento que contribuyen a una desintegración estructural, permitiendo una mayor liberación de proteínas miofibrilares. Para este fin se pueden utilizar sistemas multiagujas, cuchillas múltiples, bombos de masaje o ultrasonidos de baja frecuencia (Booren *et al.*, 1981; Flores *et al.*, 1986). A pesar de ser menos utilizados se han empleado también métodos de ablandamiento químicos (Whiting *et al.*, 1987; Rolan *et al.*, 1988).

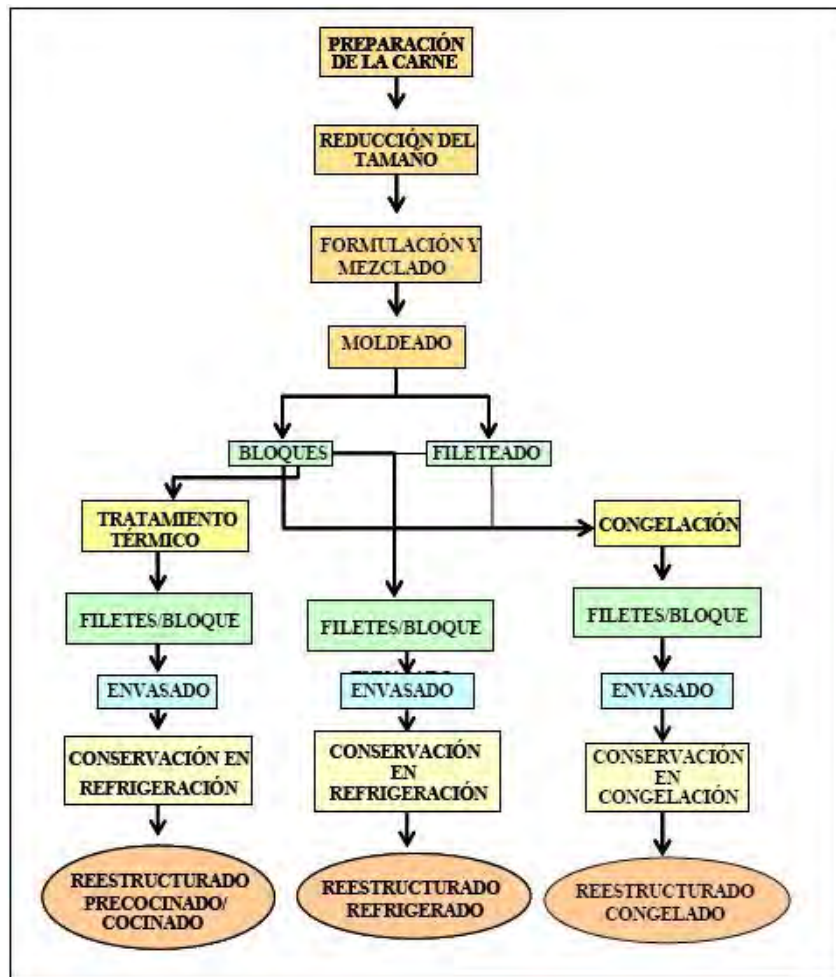


Figura 4. Resumen del proceso de elaboración de reestructurados cárnicos. (Adaptado de Booren y Mandingo, 1987; Secrist, 1987; Cambero *et al.*, 1991; Sheard, 2002)

FUENTE: Serrano *et al.*, 2001

Reducción del tamaño de la materia prima cárnica. La reducción del tamaño de partícula además de disminuir la dureza, incrementa el área superficial facilitando el acceso y extracción de las proteínas miofibrilares. El grado de fraccionamiento de los productos puede ser muy diverso e incluso puede haber varios tipos en un mismo producto, lo que proporciona un aspecto diferente al ofrecido por una carne picada tradicional. Puede encontrarse desde un picado fino hasta pequeños músculos enteros, o un desmenuzado o picado más o menos grosero, cubos y láminas o copos de carne (Huffman y Cordray, 1982). El tamaño de partícula entre 0,8-1,5 cm da como resultado productos más parecidos al músculo entero (Berry *et al.*, 1987; Raharjo *et al.*, 1995).

Para llevar a cabo el proceso de reducción se pueden emplear uno o varios de los siguientes equipos: picadora, cutter, troceadora y cortadora en cubos, etc., que se adaptan a diferentes grados de reducción y condiciones de procesado. Este proceso de desintegración se debe llevar a cabo a temperaturas controladas, para evitar la pérdida de aptitud tecnológica de las proteínas miofibrilares. El proceso de desintegración de la carne afecta a diversas características del producto reestructurado (textura, capacidad de retención de agua, propiedades sensoriales).

Mezclado de los ingredientes. El proceso de mezclado de la carne e ingredientes tiene diferentes funciones: poner en contacto de manera homogénea todos los componentes que formarán el producto final, aumentando además la ruptura de las fibras musculares, lo que favorece la liberación de los componentes intracelulares. Este proceso se suele llevar a cabo en mezcladoras de cuba horizontal, dotadas de palas que se mueven lentamente y en trayectorias opuestas, provocando un efecto de amasado. Este proceso no debe degradar en exceso la estructura de las porciones cárnicas, debiendo ser controlada la temperatura inicial y final del proceso, así como el tiempo de mezclado.

También es importante tener en cuenta el orden en la incorporación de los distintos ingredientes, por ejemplo en el caso que se adicione grasa (o cualquier ingrediente con elevada proporción de grasa), se debe hacer después de haber mezclado la porción cárnica magra con el agua, las sales y permitir la solubilización de proteínas (Serrano, 2006).

Moldeado del producto. El proceso de moldeado de las mezclas formuladas consiste en el prensado de la masa cárnica en el interior de un molde de acero inoxidable. El tiempo y la temperatura requerida varían según el tipo de producto que se pretende elaborar (Serrano, 2006).

1.2.2. Tipos de reestructurados cárnicos

El producto moldeado puede ser sometido a un proceso de congelación, refrigeración o cocción, según el reestructurado final que se pretende desarrollar, obteniéndose de este modo derivados cárnicos de distintas características: congelado, precocinado o cocinado y refrigerado.

Reestructurado congelado: Estos productos, tras el moldeado, son congelados y conservados a baja temperatura (-20 °C), hasta el momento en que son sometidos a un proceso de cocinado (gelificación por calor) y consumidos. El proceso de congelación puede realizarse sobre los filetes o porciones individuales, o bien sobre los moldes o bloques de carne. En el caso de los bloques una vez finalizada la congelación, pueden comercializarse como tales o pueden ser cortados en porciones individuales, regulares en tamaño y peso. Para ello suele recurrirse a sierras de alta velocidad. Finalmente, se acondicionan y se envasan habitualmente con materiales opacos (Cambero *et al.*, 1991).

Reestructurado precocinado o cocinado: Este tipo de producto sufre un tratamiento térmico (gelificación por calor) después del moldeado, que permite obtener auténticos productos terminados, listos para su consumo (cocinado) o productos intermedios que han de someterse a un ligero proceso culinario antes de su consumo (precocinado).

Reestructurado refrigerado: En este tipo de productos crudos la cohesión inicial no está basada en la consistencia que proporciona la congelación, suelen ser más frágiles y lábiles, y por tanto más difíciles de manejar. Para mejorar este aspecto se emplea diversos gelificantes en frío: alginatos aplicados por primera vez en la patente desarrollada por Schmidt y Means (1986), o bien fibrinógeno y trombina (Wijngaards y Paardekooper, 1987), o preparados de MTGasa (Nonaka *et al.*, 1989; Kuraishi *et al.*, 1997). La MTGasa puede ser incorporada en polvo, vehiculizada con caseinato, o bien disuelta en agua. El grado de ligazón desarrollado por la MTGasa depende de su concentración, temperatura y tiempo de actuación (Sheard, 2002).

Este tipo de productos necesitan para su comercialización un envasado más elaborado que en los productos congelados, el cual utiliza atmósferas modificadas o envasado al vacío para prolongar la conservación (Cambero *et al.*, 1991; Cambero, 2002). La presentación y características de los productos desarrollados pueden variar según la estrategia empresarial, existiendo una amplia posibilidad de modificar tanto cualitativa como cuantitativamente su composición.

1.2.3. Factores que afectan la textura de los productos reestructurados

En la elaboración de los reestructurados cárnicos debe prestarse atención a ciertos factores que pueden afectar al correcto procesado y por tanto comprometer las características finales del producto. Entre ellos cabe destacar dos grupos, por un lado los factores asociados a la composición del producto y por otro, los meramente tecnológicos.

1.2.3.1. Factores asociados a la composición de los productos reestructurados

Los ingredientes utilizados en la composición de los reestructurados cárnicos van a ser importantes por cuanto pueden afectar en mayor o menor medida a su calidad final.

La carne empleada para la reestructuración puede proceder de todas las especies de abasto, además por razones económicas se ha probado la incorporación de determinadas víscera y carnes pre-rigor, dada su mayor capacidad de retención de agua y poder de ligazón (Seideman *et al.*, 1982; Condray y Fuman, 1984).

La grasa es el componente de las carnes reestructuradas que muestra más variaciones cuantitativas, oscilando entre 3,5 % hasta más del 20 % (Mandigo y Booren, 1981).

La sal (NaCl) y los fosfatos son adicionados para aumentar la fuerza iónica del medio y favorecer la solubilidad de las proteínas miofibrilares, base de los fenómenos de ligazón por calor (Lamkey *et al.*, 1986; Huffman *et al.*, 1987), entre otras funciones.

Las sustancias ligantes y gelificantes como alginatos, carragenatos, almidones modificados, harinas de avena y diversas proteínas de origen animal no cárnicas (sólidos lácteos totales, caseinato sódico, proteínas del plasma sanguíneo, albúmina de huevo, gelatina, etc.) y de origen vegetal (las proteínas aisladas de soja, gluten de trigo, etc.), son utilizadas por razones tecnológicas (gelificación, textura, etc.) y económicas del producto (Hand *et al.*, 1981; Miller *et al.*, 1986).

En la actualidad se está comenzando a emplear MTGasa que cataliza la reacción de unión covalente entre cadenas peptídicas con residuos glutamina y lisina, permitiendo reducir la necesidad de añadir sal o fosfatos (Nielsen *et al.*, 1996; Kuraishi *et al.*, 1997). Se han realizado diversos estudios sobre la aplicación de MTG en productos cárnicos, desarrollando su actividad a bajas temperaturas (< 10 °C) y periodos de tiempo generalmente inferiores a 24 h, antes de ser inactiva por congelación (Kuraishi *et al.*, 1997) o inactivada por calentamiento (Pietrazik, 2003). Por razones prácticas el efecto de la MTGasa en reestructurados cárnicos debe ser estudiado a más largo plazo, durante periodos acordes con las condiciones habituales de comercialización de estos productos en refrigeración. Sin embargo, apenas existen estudios que evalúen como dicha conservación afecta a las características del producto.

El agua es añadida en cantidades variables, con el fin de ajustar la composición del producto (reduciendo el contenido en grasa, etc.) o compensar las pérdidas de peso durante la elaboración (Trout y Schmidt, 1987). También tiene un papel destacado como disolvente de diversos componentes, al tiempo que confiere al producto jugosidad adecuada.

Además de los componentes empleados con propiedades meramente tecnológicas pueden ser incluidos en la formulación de los reestructurados, otros ingredientes no cárnicos con actividades adicionales de carácter funcional.

1.2.3.2. Factores tecnológicos

Tamaño de la partícula cárnica. Existen diferentes métodos de reducción del tamaño de la materia prima cárnica, sin embargo, el picado es el método más utilizado, posiblemente por su sencillez (Boles y Shand, 1998). El tipo de partícula de carne (tamaño y forma) puede afectar a las características finales del producto (textura, color, propiedades ligantes, sensoriales, etc.) (Berry *et al.*, 1987; Hunt y Kropf, 1987; Mandingo, 1988; Boles y Shand, 1998; Berry *et al.*, 1999) y a la incorporación de ingredientes no cárnicos (Nielsen *et al.*, 1996; Boles y Shand, 1998). Esto es debido a que diferencias en el área superficial de las partículas cárnicas producen cambios en la extracción de proteínas e incrementan la exposición y el contacto de los constituyentes de la carne con los ingredientes no cárnicos incorporados, los cuales

pueden influir también en las características finales del producto (Mandingo, 1988). En general, cuanto menor sea el tamaño de las partículas cárnicas (mayor grado de fraccionamiento), mayor será la superficie expuesta y la accesibilidad de las proteínas miofibrilares, lo que proporcionará productos mejor ligados y más tiernos (Campbell y Mandingo, 1978). Sin embargo, el grado de fraccionamiento debe ser limitado, de lo contrario el producto final se alejará del aspecto propio deseado para este tipo de productos.

Temperatura del proceso. La temperatura de la carne durante el proceso de elaboración de los reestructurados (picado de la carne y mezcla de los ingredientes, principalmente) es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta (Sheard, 2002). El proceso de fraccionamiento se debe llevar a cabo a temperaturas entre 5,6 y -4,4 °C (entre 0 y -2 °C para la grasa) (Mandinga, 1974), mientras que la extracción de las proteínas de la carne durante la mezcla de los ingredientes, conviene transcurra a temperaturas inferiores a 5°C (Bard, 1965; Booren *et al.*, 1981). La temperatura aumenta durante el proceso de mezclado a medida que la carne se descongela (Sheard, 2002), siendo más rápida la descongelación con la incorporación de sal (de 0,5 a 1 °C) (Sheard *et al.*, 1990).

Tiempo de mezclado. El tiempo de mezcla de los ingredientes es un factor limitante que va a influir en la calidad del producto final. El trabajo mecánico de mezclado no debe degradar demasiado la estructura de la carne. La reducción inicial del tamaño de la carne da lugar a cierta destrucción de la membrana celular y liberación de agua; con la agitación adicional (mezclado), se intensifica la extractabilidad proteica, que va a favorecer la ligazón. La agitación prolongada degrada aún más la estructura muscular y aumenta la posibilidad de retención de agua. En general cortos periodos de mezcla dan como resultado texturas blandas y friables, mientras que mezclas excesivas dan como resultado texturas muy elásticas (Weiner, 1987).

Los tiempos óptimos de mezcla se determinan experimentalmente, ya que van a variar con el tipo de mezcladora, la velocidad empleada y la textura final deseada (Pepper y Schmidt, 1975; Booren *et al.*, 1981; Durlan *et al.*, 1982; Coon *et al.*, 1983; Noble *et al.*, 1985).

1.2.3.3. Factores implicados en la solubilidad de las proteínas

La elaboración de carnes reestructuradas, al igual que la de otros productos tales como embutidos, depende de la formación de una matriz proteica en el seno del producto. A partir de proteínas miofibrilares y entre las porciones cárnicas, surge una matriz o cemento de unión que facilita la retención de agua, la estabilidad de la grasa y del resto de los componentes del sistema. Para conseguir una adecuada extracción de las proteínas miofibrilares se recurre a métodos físicos y químicos.

Métodos físicos. La extracción de proteínas se puede favorecer en las fases de preparación y fraccionamiento de la carne y con la mezcla con otros ingredientes. Los métodos mecánicos permiten la ruptura de la fibra muscular, con el consiguiente incremento de la superficie expuesta a cualquier interacción y permite una mayor liberación de proteínas miofibrilares, haciendo posible la obtención de productos de mejor textura (Hayward *et al.*, 1980; Flores *et al.*, 1986; Booren y Mandingo, 1987).

Métodos químicos. El incremento en la solubilidad de las proteínas miofibrilares se consigue aumentando la fuerza iónica del medio y el pH. La fuerza iónica depende fundamentalmente de la presencia de sales (NaCl y polifosfatos, principalmente), que en las concentraciones empleadas en la elaboración de este tipo de productos (de 0,5 a 1,5%), permite la extracción de las proteínas miofibrilares, generando en el medio las condiciones propicias para el establecimiento de una adecuada matriz proteica (Schwartz y Mandingo, 1976; Mandingo, 1988). Los polifosfatos ejercen un efecto sinérgico al NaCl, provocando por lo general un aumento de la capacidad de retención de agua, del pH y de la fuerza iónica del medio (Millar *et al.*, 1986).

1.3. Transglutaminasa

Como ya se ha mencionado anteriormente los procesadores de alimentos constantemente tratan de crear productos exitosos al menor costo posible. El uso de ingredientes innovadores puede ser la clave para alcanzar dicho objetivo. La enzima transglutaminasa aprobada por la USDA en niveles de hasta 65 ppm para su uso en carnes, pollos y frutos de mar, es un ejemplo.

1.3.1. Transglutaminasa microbiana (MTGasa)

La MTGasa-Glutaminil-péptido gamma-glutamil Transferasa es una enzima extensamente presente en la naturaleza (hígado y músculos de los mamíferos y en ciertos tejidos vegetales), que ha aportado propiedades físicas revolucionarias en el ámbito de la tecnología de los alimentos.

Inicialmente se extraía de tejidos u órganos, pero en escasa cantidad y de una calidad media y su aplicación en alimentos era difícil. El descubrimiento en 1970 de la cepa *Streptoverticillium (St.) mobaraense* ha permitido su producción industrial. El *St. mobaraense* es un actinomiceto aislado de una muestra de suelo recogida en Nishiharu-cho, Japón. La cepa productora se obtuvo por mutagénesis convencional por exposición a mutágenos químicos. En los últimos años se ha investigado la producción industrial de esta enzima por fermentación sobre medio que contiene almidón, usando este microorganismo no modificado genéticamente (González 2004).

La MTGasa es una enzima que cataliza reacciones de transferencia de acilos entre proteínas, en la que los residuos glutamina actúan como donadores de grupos α -carboxamida, actuando como aceptor el grupo α - de los residuos de lisina, aunque en ausencia de éstas puede existir una reacción con aminos primarias o con el agua. La reacción dominante de esta enzima, es el entrecruzamiento de proteínas, resultando polímeros de alto peso molecular (Hie-Joon, 1999; Téllez, 2004).

En presencia de aminos primarias, la MTGasa puede unir las aminos de las glutaminas de una proteína. En ausencia de residuos de lisina o de otras aminos primarias, el agua reacciona como el aceptor resultando la desaminación de las glutaminas (Lamber, 2000). La MTGasa se encuentra en:

- Plantas: Forma el Citoesqueleto y es parte de la pared celular.
- En microorganismos: 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, entre otras funciones dado que se encuentra en innumerables tejidos y órganos.

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

La MTGasa cataliza la polimerización y la unión cruzada o entrecruzamiento de proteínas, denominado en inglés *crosslinking* (Lamber, 2000).

La MTGasa puede unir a un aminoácido mediante un enlace covalente con la proteína previniendo que éste sea destruido al tiempo que mejora la flexibilidad y la textura de los alimentos, ya que cataliza la unión intra e intermolecular de las proteínas.

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

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

Las reacciones de entrecruzamiento son:

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

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

Entrecruzamiento parcial de la proteína: Cuando la MTGasa se emplea para provocar cambios en la funcionalidad de proteínas, aparte de la gelificación directa o el incremento de la viscosidad, con frecuencia sólo el entrecruzamiento es suficiente para obtener resultados óptimos. Por otro lado, cuando se preparan ingredientes proteicos, la formación de geles de polímeros de alto peso molecular puede causar problemas con el procesamiento del material cuando se desea obtener un polvo de proteína seca. Para establecer el grado óptimo del entrecruzamiento las muestras deben ser preparadas y probadas para la funcionalidad deseada. El calentamiento, el cambio en el pH, o la adición de un inhibidor de MTGasa, pueden ser útiles para detener la reacción de entrecruzamiento en el punto adecuado. El calentamiento es la técnica más adecuada para lograr la inactivación en el momento deseado (Lamber, 2000).

1.3.1.1. Factores que influyen en la actividad enzimática

Temperatura y pH: La evolución de la actividad enzimática está directamente ligada a la temperatura. Una alta temperatura requiere un tiempo de reacción más corto. La actividad enzimática es óptima a una temperatura de 50 a 55 °C y con un amplio rango de pH de 4.5 a 9, con un óptimo entre 6 y 7.

Inactivación – Inhibidores: La MTGasa puede ser inactivada por un aumento en la temperatura interna más allá de 75 °C (2 horas a 65°C, 15 min a 70°C, 5 min a 75°C o 1 min a 80 °C). La MTGasa es una enzima que presenta un polo –SH por lo que su

actividad se ve reducida en presencia de agentes modificadores de los grupos –SH. La enzima es también sensible a la oxidación.

Actividad – Tiempo de reacción: La actividad de la enzima se expresa en unidades/gramo (u/g). La actividad de la enzima pura 10% es de 1000 – 1150 u/g a 50 u/g según las preparaciones. El tiempo de reacción de la enzima depende directamente de la temperatura. Por ejemplo, a 2 °C, el tiempo de reacción es de 2 horas 30 minutos y a 55 °C de sólo 30 min, si se trabaja a pH 6.

Especificidad de sustratos: Las proteínas que presentan estructuras muy variables, tales como las gelatinas o las caseínas, son habitualmente buenos sustratos para las enzimas y para la MTGasa.

1.3.1.2. Aplicación de la MTGasa en productos cárnicos

La reestructuración cárnica inicialmente se hacía en frío, con la adición directa de la enzima sobre la carne, con buenos resultados. Posteriormente se utilizó la MTGasa con proteínas no cárnicas, con lo cual se encontraron mejores resultados en el proceso de reestructuración de la carne, pudiéndose reestructurar grandes piezas de carne de bovino, porcino, etc. En la actualidad, durante la elaboración de alimentos cocidos la acción de la MTGasa ocurre durante el tratamiento térmico, 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 (Ramírez *et al.*, 2003).

Otra aplicación de la MTGasa es en la preparación de alimentos saludables, especialmente en productos cárnicos con baja concentración de sales y/o fosfatos (Jiménez *et al.*, 2005). Sin embargo, la textura y las propiedades físicas de estos alimentos con bajo contenido de 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).

1.4. Ingredientes Funcionales

1.4.1. Caseinato de Sodio

Se obtiene a partir de la leche y es rico en proteína, contiene todos los aminoácidos esenciales, de ahí su alto valor biológico y excelentes cualidades nutricionales; su composición aminoacídica es similar a la de la carne. Se destaca por su capacidad de retención de agua, su capacidad gelificante, emulsificante y estabilizante entre sus propiedades funcionales. Tiene ventajas tecnológicas: es hidrosoluble y, por su excelente capacidad emulsificante, ejerce una acción estabilizadora, lo que favorece la digestibilidad de las grasas en el organismo humano. Por todas estas propiedades es ampliamente utilizado en los procesos cárnicos:

Emulsión previa de grasa y agua con adición de caseinato de sodio: Lo más común es una emulsión grasa:caseinato:agua en una proporción 5:1:5. Si el caseinato es de alta viscosidad, la relación grasa:caseinato:agua puede ser 7:1:7. La tecnología para elaborarla es en caliente. Se tritura la grasa precocida (a 65°C en el centro) con agua caliente (85 a 90°C) adicionando el caseinato en la cutter, hasta obtener una masa cremosa. Para mejorar su conservación en frío se le adiciona un 2 % de cloruro de sodio (sal común). Después el bloque frío se pica y se utiliza en productos cárnicos de pasta fina. En el caso de embutidos o pastas de hígado, u otros patés, la emulsión se obtiene directamente cuando se está elaborando el producto (en caliente) con la adición de caseinato, grasa, y caldo o agua (Shut, 1976; Scheid, 1977).

Adición en seco del caseinato de sodio: La incorporación de caseinato a la pasta de carne se hace al inicio del proceso y esto provoca un aumento de la concentración de iones en la masa, por lo que requiere más agua que en el producto que se elabora sin extensor, para compensar el nivel de proteína en el producto. Al final se incorpora la grasa y se termina la pasta cárnica. Es un método rápido y sencillo pero no se aprovechan del todo las propiedades tecnológicas del caseinato de sodio.

Adición en forma de gel: Los geles se preparan con una parte de proteína láctea y 5 o 7 partes de agua. La proteína láctea se trabaja en la cutter con agua a temperatura de 80°C hasta lograr una masa uniforme; también se puede adicionar 2 % de cloruro

de sodio para mejorar su conservación (esta sal se adiciona en las últimas vueltas para evitar la rotura del gel). Con la formación de geles de caseinato se aumenta la capacidad fijadora de agua de la proteína cárnica, aunque inferior a la que se obtendría con la emulsión de éste. El empleo de los geles se lleva a cabo inmediatamente después de la dispersión en la pasta magra o bien el gel, una vez preparado, permanece en la cutter y se le adicionan la carne y el resto de los ingredientes a utilizar.

1.5. Propiedades físicas de los productos reestructurados

1.5.1. 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 a través de los órganos de la visión, obteniendo un resultado perceptual, cuya longitud de onda está comprendida entre los 370 y los 730 nm. El ojo humano sólo percibe el color cuando la iluminación es abundante, pues en condiciones de poca luz nada más se procesa este estímulo, traducido en blanco o negro. Así se tiene 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 200). Cada color tiene su propia apariencia basada en tres elementos: tono o matiz, luminosidad (valor), saturación y pureza o croma. Al describir un color usando estos tres atributos se identifica con precisión un color específico y se distingue de cualquier otro.

Matiz: Es la forma de percibir el color de un objeto: amarillo, rojo, verde, azul, etc.

Croma: También llamado pureza o saturación, describe la parte llamativa o apagada de un color, es decir de acuerdo con la teoría del color, el croma, indica si el color es matiz puro o se encuentra cerca de la escala de los grises.

Luminosidad: Llamada también valor, por la intensidad lumínica que presenta 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 con la escala de colores (Sackmann, Boothroyd 2003).

1.5.2. Textura

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 incorporar 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).

Los atributos de textura son aquellos que se asocian con su particular naturaleza (suavidad, aspereza, granulosidad, endurecimiento etc.), a su consistencia (cremosidad, humectación) y adhesión al paladar (adhesividad) (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 las propiedades mecánicas identificadas incluyen gomosidad, 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 forma 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 primarios y se considera necesario caracterizar la textura de un alimento en tres términos adicionales denominados 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.

1.5.3. Rendimiento

1.5.3.1. Pérdida de peso por tratamiento térmico

El tratamiento térmico puede considerarse la parte más importante en el proceso de elaboración de los productos cárnicos reestructurados de res, ya que por medio de ésta se induce la desnaturalización de las proteínas exponiéndose de esta manera los sitios activos de la MTGasa. Durante este paso se logran las características de gelificación en el producto, obteniendo finalmente un producto cárnico reestructurado (Alan, 1995). Además en esta parte del proceso las proteínas cambian su conformación, provocando que cierta cantidad de agua sea liberada, lo cual resulta de gran importancia a nivel industrial ya que se traduce en pérdidas en el rendimiento y a su vez en pérdidas de peso y dinero. Por consiguiente es necesario determinar la pérdida de agua durante el tratamiento térmico.

CAPITULO 2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el efecto de la interacción de la enzima Transglutaminasa microbiana y Caseinato de sodio en un producto reestructurado de res tipo Roast Beef para lograr un producto estable durante el tratamiento térmico.

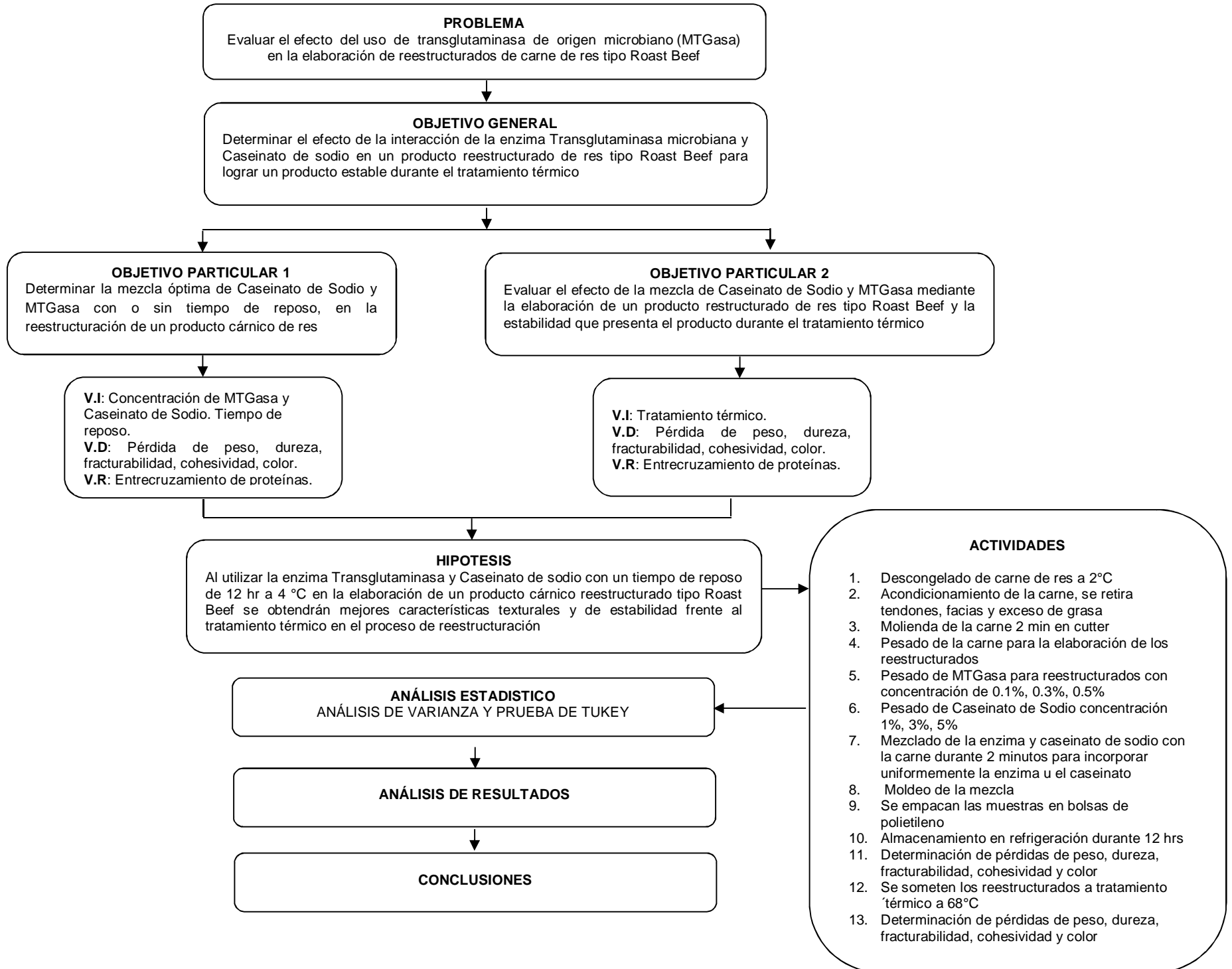
Objetivos Particulares

1. Determinar la mezcla óptima de Caseinato de Sodio y MTGasa con o sin tiempo de reposo, en la reestructuración de un producto cárnico de res.
2. Evaluar el efecto de la mezcla de Caseinato de Sodio y MTGasa mediante la elaboración de un producto reestructurado de res tipo Roast Beef y la estabilidad que presenta el producto durante el tratamiento térmico.

HIPÓTESIS

Al utilizar la enzima Transglutaminasa y Caseinato de sodio con un tiempo de reposo de 12 hr a 4 °C en la elaboración de un producto cárnico reestructurado tipo Roast Beef se obtendrán mejores características texturales y de estabilidad frente al tratamiento térmico en el proceso de reestructuración.

2.2. CUADRO METODOLOGICO



Objetivo 1

Para poder determinar el efecto de la interacción de Caseinato de Sodio con la enzima Transglutaminasa, se prepararon 2 lotes y cada lote llevó un tratamiento experimental que comprendió tres niveles de variación de Caseinato de Sodio (1, 3 y 5%) y tres niveles de enzima Transglutaminasa (0.1, 0.3 y 0.5%), un lote se mantuvo en reposo durante 12 h a 4 °C, y el otro lote se trabajó sin reposo. De esta manera se conoció la relación en concentración que presentó el producto en cuanto a las mejores características de pérdidas de peso, textura y color.

2.3. Elaboración del gel cárnico

En la Figura 5, se presenta el proceso de elaboración de los geles cárnicos reestructurados, los geles reestructurados se elaboraron en el laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria Campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán para los cuales se empleó carne del cuarto delantero de bovino.

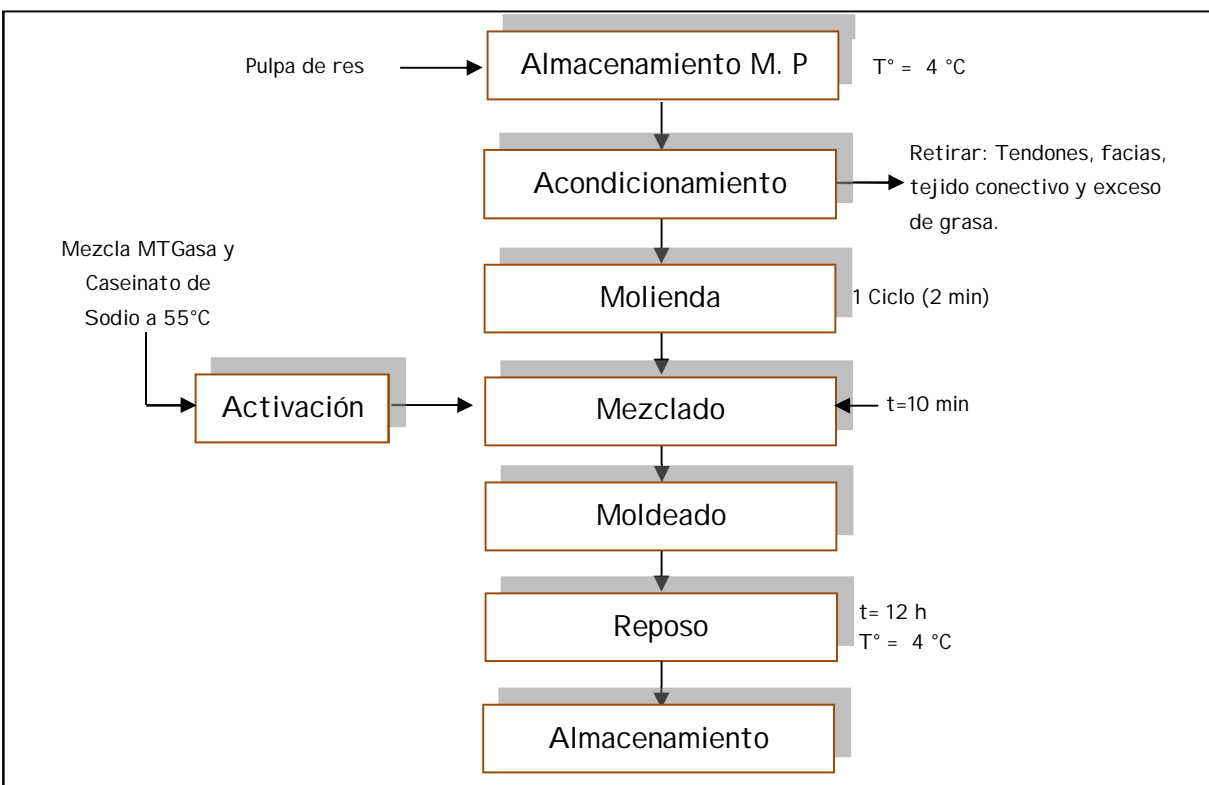


Figura 5. Diagrama de bloques para la elaboración de los geles cárnicos

La carne se adquirió congelada por lo cual se almacenó en refrigeración a 4°C para su descongelación, posteriormente se realizó su acondicionamiento el cual consistió en limpiar la carne quitando, tendones, facias y tejido conectivo así como el exceso de grasa; la carne se rebanó en pequeños trozos. Posteriormente la carne se molió durante 2 minutos en un cutter marca Hobart modelo 84186. Por otro lado se realizó la activación de la enzima a una temperatura de 55°C y esta se incorporó en el mezclado adicionando la cantidad de Transglutaminasa y Caseinato de sodio correspondiente a cada tratamiento, como se muestra en la Tabla 1. Después del mezclado la pasta fue moldeada en pequeños cilindros de 2 cm de ancho por 5 cm de diámetro. Se colocaron las muestras en charolas y se cubrieron con película de polietileno. Por último el lote 1 se sometió a reposo a 4 °C durante 12 horas. Y el lote 2 se preparó al día siguiente.

Tabla 1. Número de preparaciones con las diferentes concentraciones de MTGasa y Caseinato de Sodio

| | | MTGasa | | | |
|--------------------|-------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 0.1% | 0.3% | 0.5% | |
| Caseinato de Sodio | Con Reposo Lote 1 | 1% | M1 | M2 | M3 |
| | | 3% | M4 | M5 | M6 |
| | | 5% | M7 | M8 | M9 |
| | Sin Reposo Lote 2 | 1% | M1 _i | M2 _i | M3 _i |
| | | 3% | M4 _i | M5 _i | M6 _i |
| | | 5% | M7 _i | M8 _i | M9 _i |

2.4. Análisis de las pérdidas de peso

El análisis de las pérdidas de peso se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Primeramente se pesó el gel cárnico después del moldeado y antes de ser sometido a reposo,
2. Después del tiempo de reposo los geles cárnicos se pesaron nuevamente y se determinaron las pérdidas de peso mediante la siguiente ecuación:

$$\%Pérdidas = \left[\frac{P_i - P_f}{P_i} \right] \times 100$$

Dónde:

P_i =Peso Inicial

P_f =Peso final

2.5. Análisis de perfil de textura

Para llevar a cabo el análisis de los parámetros texturales se utilizó un texturómetro marca Instron Modelo 4411, el procedimiento fue el siguiente:

1. Los geles cárnicos se colocaron en la celda
2. Se programó en el equipo una fuerza perpendicular de 12N y una compresión del 50%.
3. Posteriormente se acercó el plato del equipo hasta una altura de 2 cm aproximadamente de la muestra, utilizando el botón subir/bajar (D) en el panel de control del equipo (C) como se muestra en la Figura 6.
4. Por último se inició la prueba automáticamente a través de la computadora conectada al equipo. Para cada tratamiento se emplearon 3 muestras las cuales se mantuvieron en bolsas de polietileno a temperatura de refrigeración (4 °C) por una hora antes de su análisis, con el fin de evitar su deshidratación.

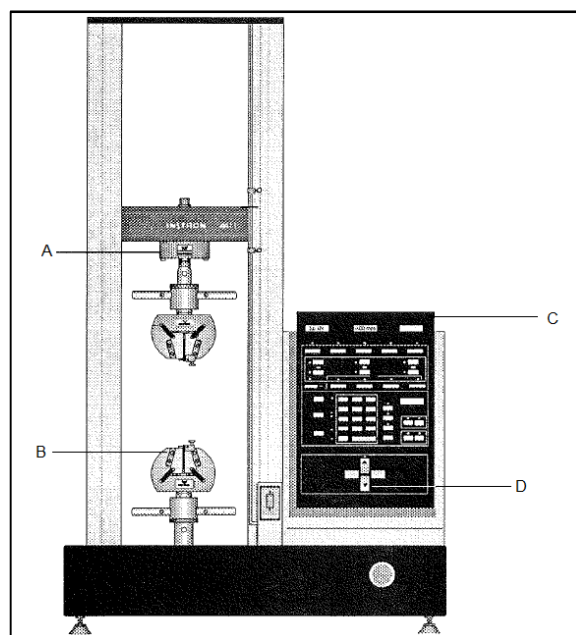


Figura 6. Equipo Instron 4411. A: Celda de carga, B: Plato para muestra, C: Panel de control, D: Boton subir/bajar

Los valores que se obtuvieron a partir de los datos generados por medio del análisis de textura TPA son: dureza, fractura, elasticidad, cohesividad y masticabilidad.

Para su medición se utilizó una compresión del 50% del tamaño inicial de la muestra y a una velocidad de compresión de 1mm/s. Los parámetros que se obtuvieron de la prueba de punción son: fuerza (kg), deformación (cm) y la dureza de ruptura o fractura, la cual es el producto de la multiplicación de la fuerza por la deformación (kg x cm).

2.6. Análisis de Color

El espectro de refractancia de los geles cárnicos reestructurados de res fue determinado usando un colorímetro Minolta Modelo CR-300. Primeramente se calibró el equipo de la siguiente manera:

1. Se encendió el equipo y se oprimió el botón de calibrar.
2. Con el uso de una placa blanca se realizaron tres mediciones que deberían indicar ceros en el display.
3. Con el uso del botón \leftarrow/\rightarrow se ajustaron los valores que el equipo mostraba hasta dejarlos en ceros.

Una vez calibrado el colorímetro, las muestras se sacaron de refrigeración y se colocaron una a una en el equipo como se muestra en la Figura 7, para conocer sus parámetros de color.

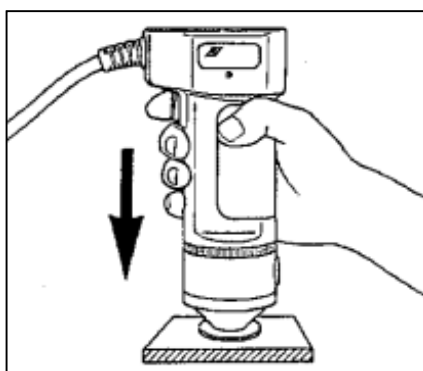


Figura 7. Medición de color con el equipo Minolta

Se obtuvieron los valores L^* , a^* y b^* y se calculó el valor de la diferencia total de color $\Delta E = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{1/2}$.

Dónde:

ΔE = Diferencia total de color

ΔL = Diferencia de Luminosidad

Δa = Diferencia entre rojo y verde

Δb = Diferencia entre amarillo y azul

Objetivo 2

Una vez conocida la concentración de MTGasa con caseinato de sodio se evaluó su efecto en los cambios de textura y cohesión en el producto reestructurado de res tipo Roast Beef, así como la eficiencia de la mezcla en función de la estabilidad que presentó el producto durante el tratamiento térmico.

2.7. Elaboración del reestructurado de res tipo Roast Beef

Para elaborar el reestructurado de res tipo Roast Beef se empleó carne de la parte anterior de la canal de bovino, la cual se pesó y posteriormente fue procesada en un cutter marca Hobart modelo 84136 durante 2 minutos y se le adicionaron los ingredientes que se muestran en la siguiente formulación.

2.7.1. Formulación del reestructurado tipo Roast Beef

En la Tabla 2, se muestra la formulación que se empleó para elaborar los reestructurados de res tipo Roas Beef, todos los ingredientes se compraron en comercios locales y de marcas conocidas.

Tabla 2. Formulación para Roast Beef

| Componente | Cantidad en % | Componente | Cantidad en % |
|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| Carne de Bovino | 76.35 | Azúcar | 0.80 |
| Agua | 10.00 | MTGasa | 0.30 |
| Caseinato de sodio | 5.00 | Cebolla en polvo | 0.30 |
| Condimento Carnotex | 5.00 | Pimienta en polvo | 0.20 |
| Sal | 2.00 | Eritorbato de Sodio | 0.05 |

2.8. Tratamiento térmico

Primeramente se elaboró el producto cárnico reestructurado tipo Roast Beef, siguiendo el mismo procedimiento como el mostrado anteriormente en la Figura 5, después del reposo se llevó a tratamiento térmico en un horno de gas casero hasta alcanzar una temperatura en el centro térmico de 68°C (NOM-251-SSA1-2009). Después del tratamiento térmico, las muestras se guardaron en bolsas de polietileno y se llevaron a refrigeración a 4 °C hasta su posterior análisis.

2.9. Análisis de pérdidas de peso, perfil de textura y color

Los productos fueron sometidos a diferentes análisis (pérdida de peso, textura y color) los mismos que se muestran en el Objetivo 1 de esta investigación y siguiendo la misma metodología.

CAPITULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Objetivo 1.

3.1. Concentración de MTGasa-Caseinato y efecto del tiempo de reposo

3.1.1. Pérdidas de peso

En la Figura 8 se observa el comportamiento de la pérdida de peso. La pérdida de peso se ve claramente inferior en las preparaciones en los que se utilizó el tiempo de reposo lo cual indica que a pesar de que no se tienen las condiciones óptimas de la enzima MTGasa, ésta puede llevar a cabo su función de enlace. Además se encontró que a medida que se adicionaba mayor cantidad de la mezcla de MTGasa y caseinato se lograron obtener pérdidas de peso cada vez menores. Sin embargo en las preparaciones M1, M2 y M3 no se presentó ninguna diferencia aplicando o no el tiempo de reposo, una de las razones por las que se observa esto, es porque en estas muestras se tienen concentraciones muy bajas de MTGasa y Caseinato de sodio.

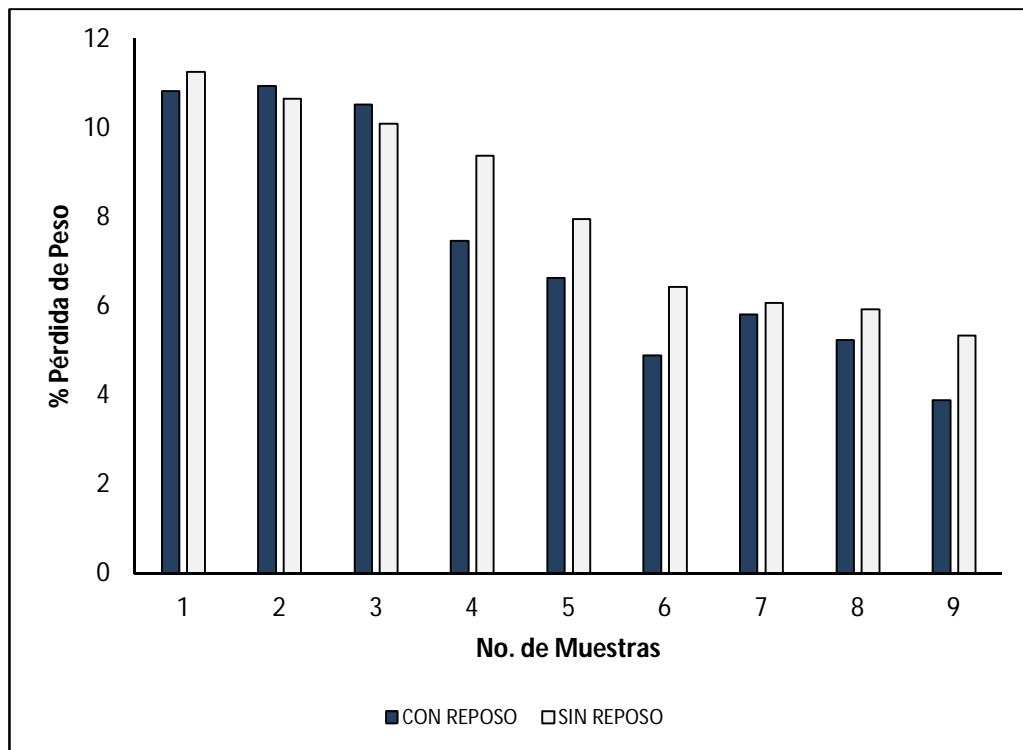


Figura 8. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la pérdida de peso

Los valores del análisis de varianza (Anova) para las preparaciones con reposo se muestran en la Tabla 3, donde se aprecia que la F de Fisher es mayor que la F de tablas por lo que sí existe una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre las muestras.

Tabla 3. Anova, pérdidas de peso en el tratamiento con reposo

| FV | gl | SC | CM | F |
|-------|-------|--------|-------|--------|
| trat | 8.00 | 181.34 | 22.67 | 136.19 |
| error | 18.00 | 3.00 | 0.17 | |
| total | 26.00 | 184.34 | | |

En la Tabla 4 se puede observar que las preparaciones M1, M2 y M3 tienen un comportamiento similar en la pérdida de peso; estas muestras corresponden a las concentraciones más bajas de la mezcla de enzima MTGasa y de caseinato de sodio y a medida que se aumenta la concentración de dicha mezcla la pérdida de peso del producto es menor como se observa en la muestra M9 que es similar a M6.

Tabla 4. Comparaciones de Tukey de las pérdidas de peso en el tratamiento con reposo

| M2 | M1 | M3 | M4 | M5 | M7 | M8 | M6 | M9 |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10.941 | 10.815 | 10.517 | 7.462 | 6.620 | 5.803 | 5.227 | 4.894 | 3.880 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

En la Tabla 5, se muestran los resultados del análisis de varianza aplicado a las preparaciones sin reposo donde al igual que los productos con reposo se observa que existe una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre ellos.

Tabla 5. Anova, pérdidas de peso en el tratamiento sin reposo

| FV | gl | SC | CM | F |
|-------|-------|--------|-------|-------|
| trat | 8.00 | 124.22 | 15.53 | 75.90 |
| error | 18.00 | 3.68 | 0.20 | |
| total | 26.00 | 127.91 | | |

El efecto del tiempo de reposo se puede apreciar en la Tabla 6 en donde se observa claramente que las muestras que no se sometieron a tiempo de reposo, presentaron

las mayores pérdidas de peso, aun cuando el uso de la mezcla de enzima MTGasa y Caseinato de sodio se incrementó.

Tabla 6. Comparaciones de Tukey de las pérdidas de peso en el tratamiento sin reposo

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | |
|-------------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|--|
| 11.255 | 10.649 | 10.093 | 9.369 | 7.951 | 6.421 | 6.074 | 5.922 | 5.327 | |
| [Barra horizontal gris] | | | [Barra horizontal gris] | | [Barra horizontal gris] | | | [Barra horizontal gris] | |

En la tabla 7 se muestran las diferencias significativas entre las diferentes muestras a partir de la cual se puede mencionar que no existió diferencia significativa en la pérdida de peso entre los productos reestructurados en los cuales se utilizó una concentración de la mezcla de enzima MTGasa y Caseinato de sodio similar, o que no varió demasiado, por ejemplo; no existió diferencia significativa entre la preparación M1 respecto a M2 y M3 ya que las concentraciones de la mezcla que se utilizó en dichas muestras fueron de las más bajas (1% de caseinato de sodio con 0.1%, 0.3% y 0.5% de MTGasa respectivamente), sin embargo las preparaciones M1, M2 y M3 presentaron una diferencia significativa respecto a las muestras M8 y M9 que fueron en los cuales se empleó la concentración más alta de la mezcla (5% caseinato de sodio con 0.3% y 0.5% de MTGasa respectivamente).

Tabla 7. Esquema de diferencias significativas ($\alpha=0.05$) comparaciones múltiples de Tukey para las pérdidas de peso

| Preparaciones | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| M1 | - | NDS | NDS | DS | DS | DS | DS | DS | DS |
| M2 | NDS | - | NDS | DS | DS | DS | DS | DS | DS |
| M3 | NDS | NDS | - | DS | DS | DS | DS | DS | DS |
| M4 | DS | DS | DS | - | NDS | DS | DS | DS | DS |
| M5 | DS | DS | DS | NDS | - | NDS | NDS | DS | DS |
| M6 | DS | DS | DS | DS | NDS | - | NDS | DS | DS |
| M7 | DS | DS | DS | DS | NDS | NDS | - | DS | DS |
| M8 | DS | DS | DS | DS | DS | DS | DS | - | NDS |
| M9 | DS | DS | DS | DS | DS | DS | DS | NDS | - |

NDS: No existe diferencia significativa DS: Existe Diferencia significativa

3.1.2. Perfil de Textura

Los parámetros de textura en los productos reestructurados de bovino no se incrementaron significativamente en medida que se adicionaba una mayor concentración de la mezcla de MTGasa y Caseinato de sodio en comparación con las muestras que tienen menor cantidad de la mezcla. El efecto del tiempo de reposo si presenta una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) respecto a las preparaciones que no fueron sometidos a reposo, presentando el mayor incremento en los parámetros de textura.

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos en dureza. Las muestras que tenían menor concentración de la mezcla presentaron los valores más bajos, además se encontró que el tiempo de reposo aumenta significativamente ($\alpha=0.05$) los valores de dureza, lo cual indica que durante el tiempo de reposo la enzima forma más enlaces con las proteínas cárnicas y se ve reflejado en durezas más altas.

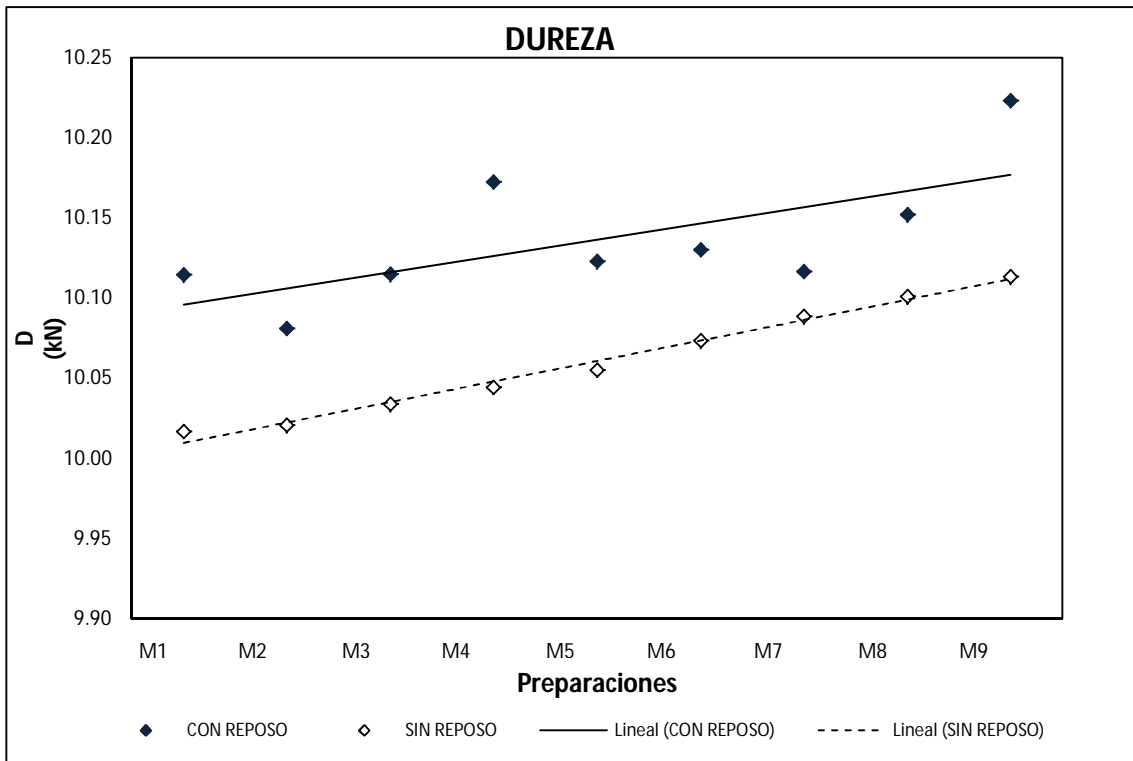


Figura 9. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la dureza

En la Figura 10 se observan los resultados de fracturabilidad, que al igual que la dureza se encontró que aumentando la concentración de la mezcla se necesita aplicar una mayor fuerza para lograr que el producto reestructurado se fracture.

El tiempo de reposo también tiene un efecto significativo ($\alpha=0.05$), ya que las muestras que fueron almacenadas durante 12 horas, presentan valores de fracturabilidad mayores, en comparación con las preparaciones que no se sometieron a tiempo de reposo.

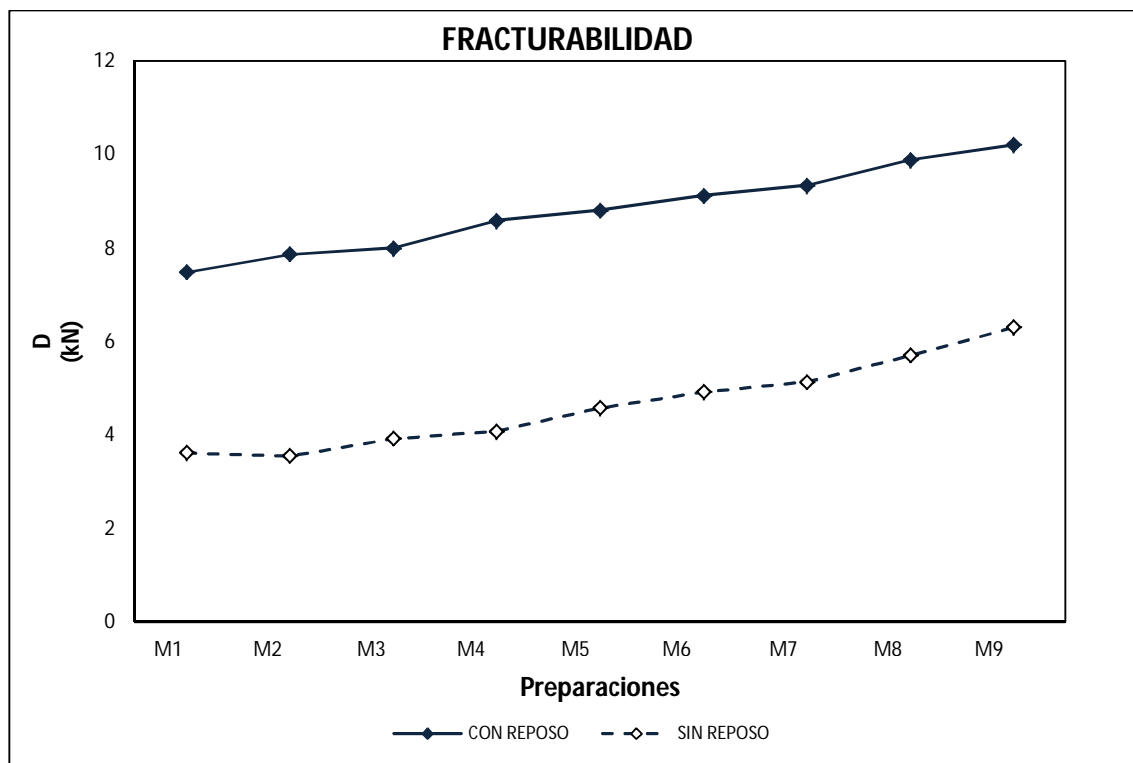


Figura 10. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la fracturabilidad

Las muestras con reposo M1, M2 y M3 que tienen menor concentración de la mezcla, presentaron valores de fracturabilidad alrededor de 7.5 kN, mientras que las muestras M8 y M9 con mayor concentración de MTGasa y Caseinato de sodio necesitaron de una fuerza de 9.76 y 10.01 kN respectivamente, para lograr la fractura del producto reestructurado. Mientras que las mismas preparaciones sin reposo registran una fuerza de fractura alrededor de 3.50 kN (T1, T2 y T3) y de 5.55 y 6.33 kN para T8 y T9 respectivamente.

El efecto de la mezcla y del tiempo de reposo en la cohesividad se muestra en la Figura 11, la cohesividad de los productos reestructurados no presentó una diferencia significativa entre las preparaciones. Sin embargo si se encontró una diferencia al someterlos a reposo, las muestras sin reposo registraron valores de cohesividad de 0.23 mientras que las muestras con reposo presentaron valores de cohesividad de 0.33 en promedio.

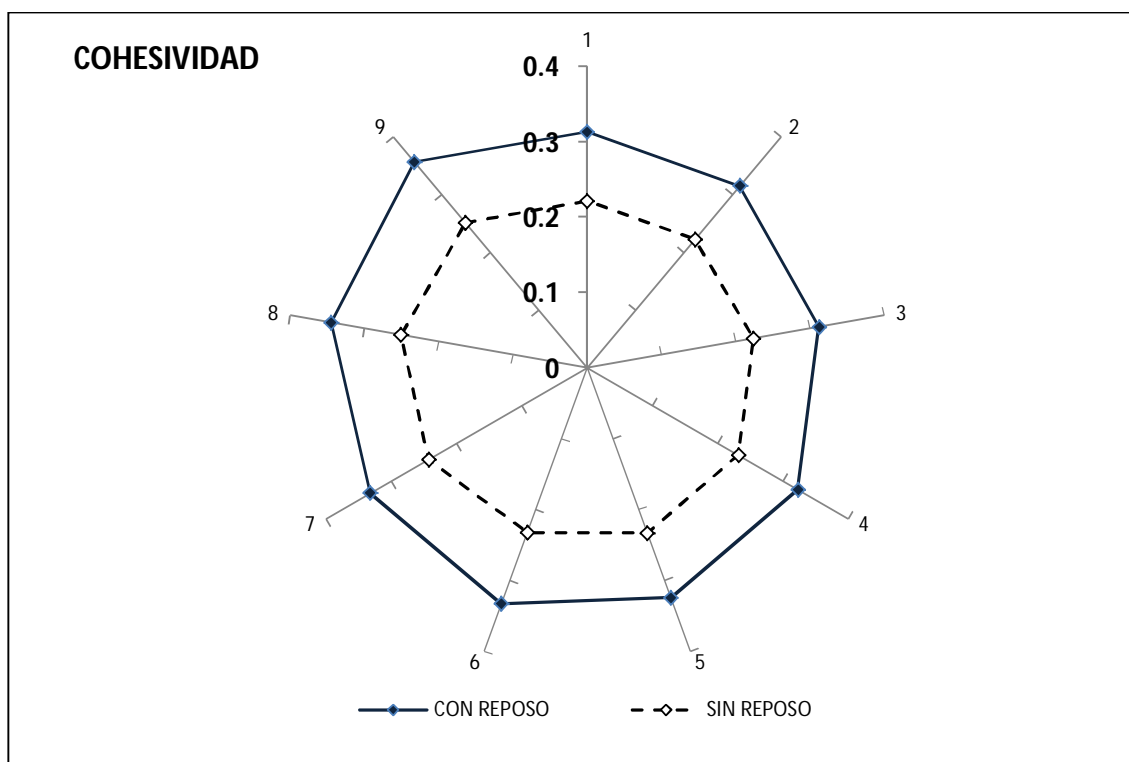


Figura 11. Efecto de la concentración de la mezcla (MTGasa-Caseinato de sodio) y del tiempo de reposo en la cohesividad

En la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis de varianza para las muestras sometidas a tiempo de reposo; en base a la F de Fisher se observa una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) en la dureza entre las muestras con diferentes concentraciones de la mezcla de enzima y caseinato de sodio.

Tabla 8. Anova, dureza en el tratamiento con reposo

| FV | gl | SC | CM | F |
|-------|-------|------|---------|------|
| trat | 8.00 | 0.04 | 0.00515 | 4.08 |
| error | 18.00 | 0.02 | 0.0013 | |
| total | 26.00 | 0.06 | | |

Una vez realizada la prueba de Tukey como se presenta en la Tabla 9 para las muestras con reposo, se puede afirmar estadísticamente que en la dureza de los reestructurados cárnicos con reposo existe diferencia significativa en aquellas muestras en las que se tiene una concentración baja de la mezcla de enzima y caseinato de sodio, respecto aquellos que se manejaron con una concentración más alta de la enzima. Por ejemplo la muestra M2 que tuvo una concentración de 1% de caseinato de sodio y 0.3% de MTGasa es estadísticamente diferente a la preparación M9 que tuvo 5% de caseinato de sodio y 0.5% de MTGasa. Sin embargo la misma muestra (M2) no presentó una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) respecto a la muestra M1 (1% caseinato de sodio y 0.1% MTGasa) y de la muestra M3 (1% Caseinato de Sodio y 5% MTGasa).

Tabla 9. Comparaciones de Tukey de la dureza en el tratamiento con reposo

| M2 | M1 | M3 | M4 | M5 | M7 | M8 | M6 | M9 |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10.941 | 10.815 | 10.517 | 7.462 | 6.620 | 5.803 | 5.227 | 4.894 | 3.880 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis de varianza para las muestras sin reposo donde al igual que las muestras con reposo se presenta una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los reestructurados cárnicos con diferentes concentraciones de la mezcla de enzima y caseinato de sodio.

Tabla 10. Anova, dureza en el tratamiento sin reposo

| FV | gl | SC | CM | F |
|-------|-------|------|----------|--------|
| trat | 8.00 | 0.03 | 0.00370 | 186.33 |
| error | 18.00 | 0.00 | 0.000020 | |
| total | 26.00 | 0.03 | | |

En la Tabla 11 se observan los resultados de dureza de la prueba de Tukey para las muestras sin reposo, se puede decir estadísticamente que las preparaciones se

agrupan de tres en tres (cada región o rectángulo gris en la tabla representa un grupo) y que estos corresponden a mezclas con concentraciones similares por lo que en cada grupo las preparaciones no son estadísticamente diferentes, sin embargo si se presenta una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los grupos.

Tabla 11. Comparaciones de Tukey de la dureza en el tratamiento sin reposo

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 11.255 | 10.649 | 10.093 | 9.369 | 7.951 | 6.421 | 6.074 | 5.922 | 5.327 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

En la Tabla 12, en el caso de la dureza del producto se observa que necesita una mayor fuerza cada muestra para poder deformarse comparado con las muestras que no fueron sometidas a reposo (Tabla 15) y que presentan los valores más bajos, esto nos indica que la enzima y el caseinato le confieren una textura más rígida al producto debida al mayor tiempo de exposición que tiene; el mismo comportamiento se observó en la fracturabilidad.

Sobre la cohesividad se puede decir que a pesar de ser estadísticamente iguales entre tratamientos de cada grupo, aquellos que fueron sometidos a reposo presentan los valores más elevados, lo que indica que el producto tiene una mejor capacidad de regresar a su condición inicial después de que la fuerza deformante ha sido retirada, esto se debe a que la fuerza de interacción de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto son mayores.

Los resultados en los parámetros de textura son similares a los reportados por Soto, 2008 en donde se estudia la interacción de la enzima con diferentes tipos de carrageninas en condiciones similares a las desarrolladas en este estudio y de igual manera en los resultados de Castro, 2008.

Tabla 12. Comparaciones de Tukey en el tratamiento con reposo

| PARAMETROS DE TEXTURA | PREPARACIONES | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
| DUREZA | 10.815 (0.0004) | 10.941 (0.002) | 10.517 (0.00032) | 7.462 (0.0957) | 6.620 (0.00076) | 4.894 (0.001) | 5.803 (0.0005) | 5.227 (0.044) | 3.880 (0.015) |
| FRACTURABILIDAD | 7.48 (0.18) | 7.86 (0.59) | 7.99 (0.06) | 8.58 (0.06) | 8.8 (0.08) | 9.11 (0.06) | 9.33 (0.01) | 9.88 (0.17) | 10.2 (0.06) |
| COHESIVIDAD | 0.3131 (0.0003) | 0.3149 (0.0005) | 0.3124 (0.0003) | 0.3228 (0.0004) | 0.3247 (0.0006) | 0.3333 (0.0018) | 0.3325 (0.0017) | 0.3451 (0.0003) | 0.3565 (0.0004) |

Valores entre paréntesis indican la desviación estándar de las medias

En la Tabla 13 se muestran los resultados de los parámetros de dureza, fracturabilidad y cohesividad para las muestras sin reposo, en donde se observa que existe una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) respecto aquellas que fueron sometidas a reposo, esto se comprueba al observar que las muestras sometidas a reposo presentan valores mayores. La desviación estándar de las medias es muy baja lo que significa que se desarrolló adecuadamente la metodología experimental

Tabla 13. Comparaciones de Tukey en el tratamiento sin reposo

| PARAMETROS DE TEXTURA | PREPARACIONES | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
| DUREZA | 9.15 (0.0049) | 8.46 (0.001) | 8.31 (0.0036) | 7.752 (0.0049) | 7.020 (0.004) | 6.814 (0.0049) | 5.123 (0.0032) | 3.417 (0.0079) | 2.280 (0.0015) |
| FRACTURABILIDAD | 3.62 (0.18) | 3.55 (0.59) | 3.92 (0.06) | 4.08 (0.06) | 4.58 (0.08) | 4.92 (0.06) | 5.13 (0.01) | 5.7 (0.17) | 6.3 (0.06) |
| COHESIVIDAD | 0.2216 (0.0003) | 0.2227 (0.0005) | 0.2242 (0.0003) | 0.2317 (0.0004) | 0.2335 (0.0006) | 0.2325 (0.0018) | 0.2429 (0.0017) | 0.2509 (0.0003) | 0.2513 (0.0004) |

Valores entre paréntesis indican la desviación estándar de las medias

En la Tabla 14, se muestran los datos del análisis por comparaciones múltiples de Tukey en donde se describen aquellas preparaciones en los que existe y no existe una diferencia significativa, donde se observa que entre las muestras que tienen una concentración similar, baja o alta de caseinato o MTGasa no se presentan diferencias significativas, esto es importante para poder definir la concentración de la mezcla que se usó en el objetivo 2.

Tabla 14. Esquema de diferencias significativas ($\alpha=0.05$) comparaciones múltiples de Tukey para los parámetros de textura

| Preparaciones | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| M1 | - | NDS | NDS | DS | DS | DS | DS | DS | DS |
| M2 | NDS | - | NDS | DS | DS | DS | DS | DS | DS |
| M3 | NDS | NDS | - | DS | DS | DS | DS | DS | DS |
| M4 | DS | DS | DS | - | NDS | DS | DS | DS | DS |
| M5 | DS | DS | DS | NDS | - | NDS | NDS | DS | DS |
| M6 | DS | DS | NDS | NDS | NDS | - | NDS | NDS | DS |
| M7 | DS | DS | DS | NDS | NDS | NDS | - | DS | DS |
| M8 | DS | DS | DS | DS | DS | DS | DS | - | NDS |
| M9 | DS | DS | DS | DS | DS | DS | DS | NDS | - |

NDS: No existe diferencia significativa DS: Existe Diferencia significativa

3.1.3. Color

Las variables de color en los geles cárnicos reestructurados de res L^* , a^* , b^* , y ΔE , se muestran en las Tablas 15 y 16. La adición de la mezcla de enzima MTGasa y caseinato de sodio no originó una diferencia significativa entre los tratamientos. Los valores de L^* aumentaron muy poco cuando fueron sometidos a tiempo de reposo. Los valores de a^* no se modificaron en gran medida cuando los geles fueron tratados con o sin reposo.

Los valores de b^* de igual manera no presentaron cambios significativos entre los tratamientos con reposo y sin reposo, mientras que los valores más altos se encontraron en aquellas preparaciones en las cuales la concentración de enzima y caseinato de sodio fue menor.

Tabla 15. Parámetros de color para el tratamiento con reposo

| Parámetro | PREPARACIONES | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
| L^* | 35.3 | 37.4 | 38.46 | 38.25 | 34.92 | 37.61 | 34.34 | 34.71 | 36.4 |
| a^* | 17.13 | 17.05 | 18.27 | 14.43 | 15.64 | 16.52 | 15.46 | 13.73 | 15.84 |
| b^* | 5.42 | 6.2 | 6.35 | 5.42 | 5.41 | 4.5 | 4.62 | 4.94 | 5.91 |
| ΔE | 1.02 | 2.24 | 1.23 | 2.41 | 1.98 | 1.76 | 2.11 | 3.21 | 2.32 |

Tabla 16. Parámetros de color para el tratamiento sin reposo

| Parámetro | PREPARACIONES | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
| L* | 36.23 | 41.15 | 38.7 | 38.39 | 38.08 | 39.13 | 36.73 | 36.83 | 38.17 |
| a* | 16.6 | 16.29 | 16.59 | 17.85 | 17.26 | 16.08 | 16.15 | 17.09 | 14.87 |
| b* | 4.28 | 7.34 | 5.32 | 6.77 | 6.08 | 5.95 | 5.8 | 5.63 | 6.46 |
| ΔE | 1.13 | 2.98 | 1.11 | 0.42 | 0.98 | 1.09 | 2.10 | 1.34 | 1.98 |

Los resultados del análisis de varianza se muestran en la Tabla 17 para las muestras con reposo, estadísticamente las muestras no presentaron una diferencia significativa (0.05) en la diferencia total de color ΔE.

Tabla 17. Anova, diferencia total de color (ΔE) del tratamiento con reposo

| FV | gl | SC | CM | F |
|-------|----|--------|--------|--------|
| trat | 1 | 14.758 | 14.758 | 32.590 |
| error | 16 | 7.245 | 0.453 | |
| total | 7 | 22.003 | | |

En la Tabla 18 se observan los resultados del análisis de varianza para las muestras sin reposo. De igual manera que con las preparaciones con reposo, no se presentó una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre ellos.

Tabla 18. Anova, diferencia total de color (ΔE) del tratamiento sin reposo

| FV | gl | SC | CM | F |
|-------|----|--------|--------|--------|
| trat | 1 | 20.246 | 20.246 | 35.606 |
| error | 16 | 9.098 | 0.569 | |
| total | 17 | 29.344 | | |

Al analizar los resultados de color se observa que el atributo de luminosidad (L*) es menor en los tratamientos que no fueron sometidos a reposo comparado con los tratamientos que pasaron un reposo de 12 horas esta variación puede ser atribuida a la oxidación de la mioglobina, producida por un contacto prolongado con el oxígeno, convirtiéndose en metamioglobina, dando un color pardo en la carne (Hui *et al.*, 2006).

Para facilitar el análisis de los resultados de color y tener un mayor entendimiento del significado de los parámetros L*, a*, b*, y ΔE, se empleó el software BabelColor CT&A como se observa en la Figura 12, en donde se introdujeron los datos de cada

característica del color y se pudo obtener una escala de comparación para los diferentes tratamientos con reposo y sin reposo.

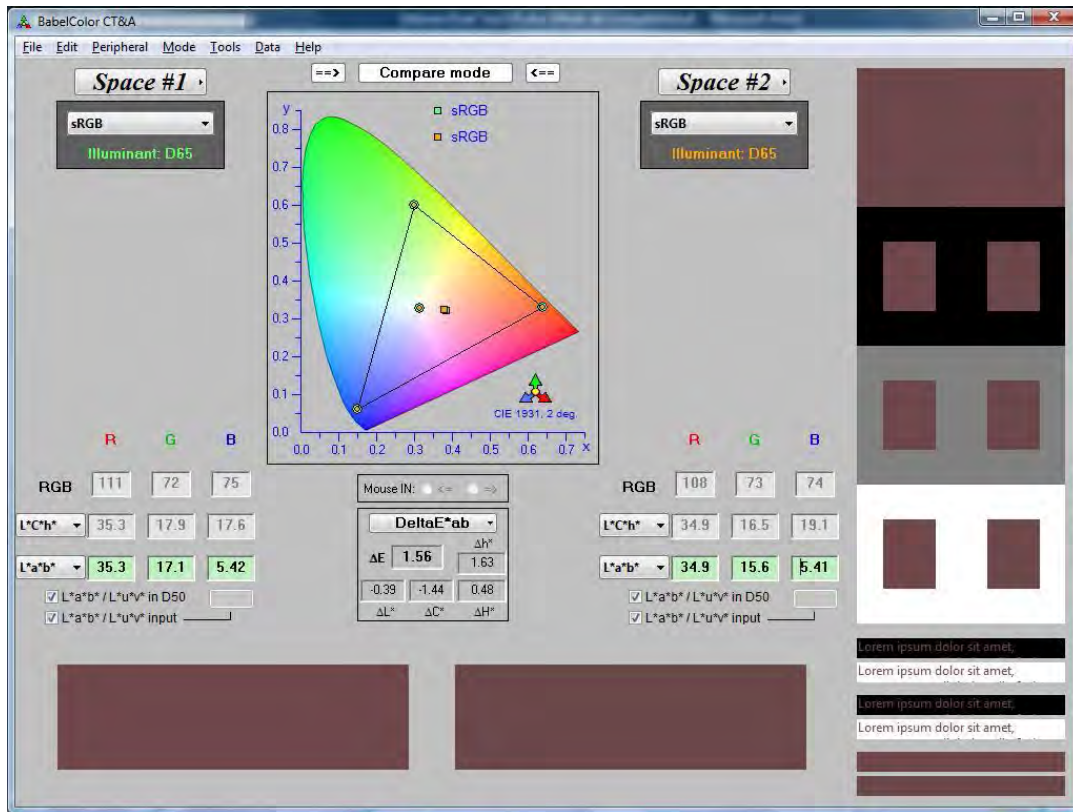


Figura 12. Pantalla inicial del software BabelColor CT&A para el análisis de color

En la Figura 13 se muestra la escala de colores a partir de los valores L, a* y b* de cada preparación, de esta manera se observa que el color es prácticamente igual entre las diferentes preparaciones y tampoco existe una diferencia notoria al ser sometidos a reposo o sin reposo. Si bien es cierto que existen pequeñas variaciones como la descrita en cuanto a la luminosidad, la mezcla de MTGasa y caseinato de sodio no influye en la modificación del color, independientemente de la concentración que se utilice.

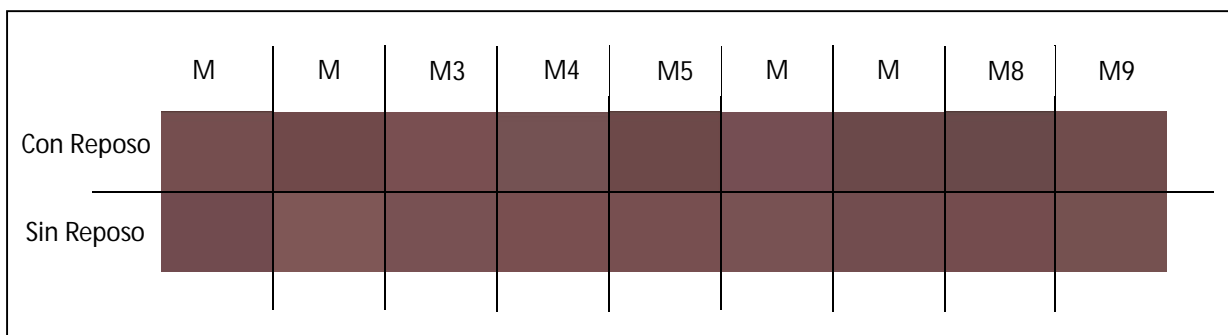


Figura 13. Escala de colores obtenida mediante BabelColor CT&A para los tratamientos

En la literatura se encontraron valores de luminosidad mayores reportados por autores como Flores-Peinado 2009 ($L^*=48.64$), Pascual *et. al.*, 2008 ($L^*=54.34$) esto puede atribuirse al tiempo de almacenamiento en congelación de la carne utilizada en este estudio. En cuanto a los valores de a^* y b^* si son similares a los reportados por los mismos autores Flores-Peinado 2009 ($a^*=14.27$, $b^*=6.31$), Pascual *et. al.*, 2008 ($a^*=18.43$, $b^*=4.22$).

Por otro lado y como se mencionó anteriormente, el aumento en la concentración de la mezcla tuvo un efecto significativo ($\alpha=0.05$) en la pérdida de peso tanto entre las muestras con diferentes concentraciones de la mezcla, como en el tratamiento que se sometieron con reposo y sin reposo, en los parámetros de textura solo se presentaron diferencias significativas entre los lotes que se trabajaron con o sin reposo, pero no se presentó una diferencia significativa entre las preparaciones, en cuanto al color no se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$). La preparación que presentó las menores pérdidas de peso, la mejor consistencia que se vio reflejada en los valores de dureza, y las mejores características de color respecto al patrón, fue la muestra M9; sin embargo, esta preparación no presenta diferencia significativa respecto a la muestra M8, por lo que resulta conveniente trabajar con las concentraciones de MTGasa y Caseinato de sodio de la preparación M8 y con tiempo de reposo, ya que se emplea menor cantidad de enzima (0.3% para la muestra M8 y 0.5% para M9) y la misma cantidad de Caseinato de sodio (5%).

Objetivo 2.

3.2. Comportamiento de la mezcla frente al tratamiento térmico

3.2.1. Pérdidas de peso

Para las 5 muestras se utilizó la concentración de mezcla obtenida de la experimentación del objetivo 1 (0.3% MTGasa y 5% Caseinato de sodio). En la Figura 14 se muestran los resultados obtenidos de los productos cárnicos reestructurados tipo roast beef, se observa claramente que el tratamiento térmico disminuye las pérdidas de peso, para la muestra 1 pasando de 5.69% sin tratamiento térmico a 0.88% con este proceso, para la muestra 2 de 5.01% a 1.02%,

para la muestra 3 de 5.13% a 1.11%, para la 4 de 4.98% a 0.99% y para la 5 de 5.23% a 1.15%

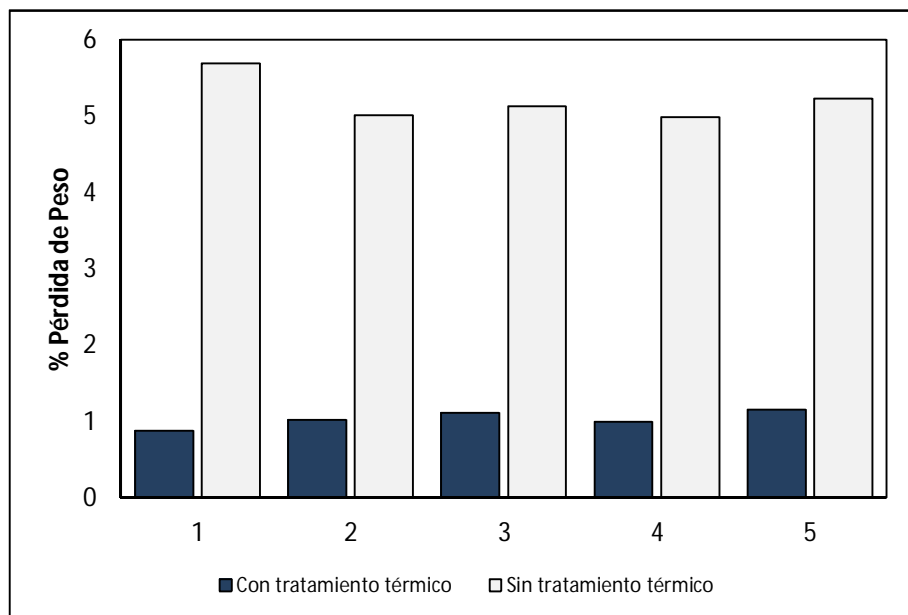


Figura 14. Efecto del tratamiento térmico en la pérdida de peso

Como se pudo observar en los resultados, el efecto del tratamiento térmico tiene una diferencia significativa (0.05) en las pérdidas de peso, respecto aquellos productos reestructurados tipo Roast Beef que no fueron sometidos a tratamiento térmico, siendo estos últimos los que registran mayores pérdidas de peso, esto se atribuye a que el proceso de calentamiento genera las condiciones óptimas de temperatura para que la enzima MTGasa pueda llevar a cabo su función de enlace (Hie-Joon, 1999; Payne, 2000), además de que el calentamiento provoca la desnaturalización de las proteínas lo cual permite que se tenga mayor exposición de los sitios activos para la MTGasa, traduciéndose en una mayor gelificación del producto y una disminución de las pérdidas de peso (Alan, 1995).

Estos resultados pueden compararse con los obtenidos por Soto 2008, quien reporta pérdidas de peso entre 0.58% y hasta 2.11% en condiciones similares de temperatura pero con la utilización de carrageninas en vez de caseinato de sodio.

Y con los resultados de Castro 2008, sin embargo frente a los datos de este autor los resultados obtenidos en este estudio son menores ya que él reporta pérdidas de peso desde 20.82% hasta 21.86%, esto se atribuye a que en su investigación no contempla el tiempo de reposo como el utilizado en esta investigación.

Sin embargo Torralba 2013 señala que en medallones de pechuga de pavo, se presenta un incremento de la sinéresis cuando no se tiene un tiempo de reposo previo del producto.

3.2.2. Perfil de textura

En la Figura 15, se presentan los resultados de dureza. Los valores más bajos los presentaron las muestras sin tratamiento térmico los cuales estuvieron entre 10.1 y 10.4 kN, mientras que los productos reestructurados que fueron sometidos a tratamiento térmico, aumentaron los valores desde 13.1 y hasta 15.3 kN.

El mismo comportamiento se observó con la fracturabilidad (Figura 17), ya que las muestras que no fueron sometidos registraron los valores más bajos, siendo estos de 9.76 kN para la muestra T1, 9.88 kN para la T2, 9.99 kN en T3, 9.88 kN en T4 y 10.03 kN para la muestra T5, comparados con las muestras que si se sometieron a tratamiento térmico, registrando fracturabilidad de 12.14 kN en T1, 12.99 kN en T2, 13.11 kN en T3, 13.27 kN para T4 y 12.85 kN para la muestra T5.

Se observa que los valores de los productos reestructurados sin tratamiento térmico son muy similares a diferencia de los que si se sometieron al tratamiento, estos últimos presentan una mayor variabilidad lo que cual se puede atribuir al proceso de calentamiento que pudo no ser homogéneo en cada una de las muestras.

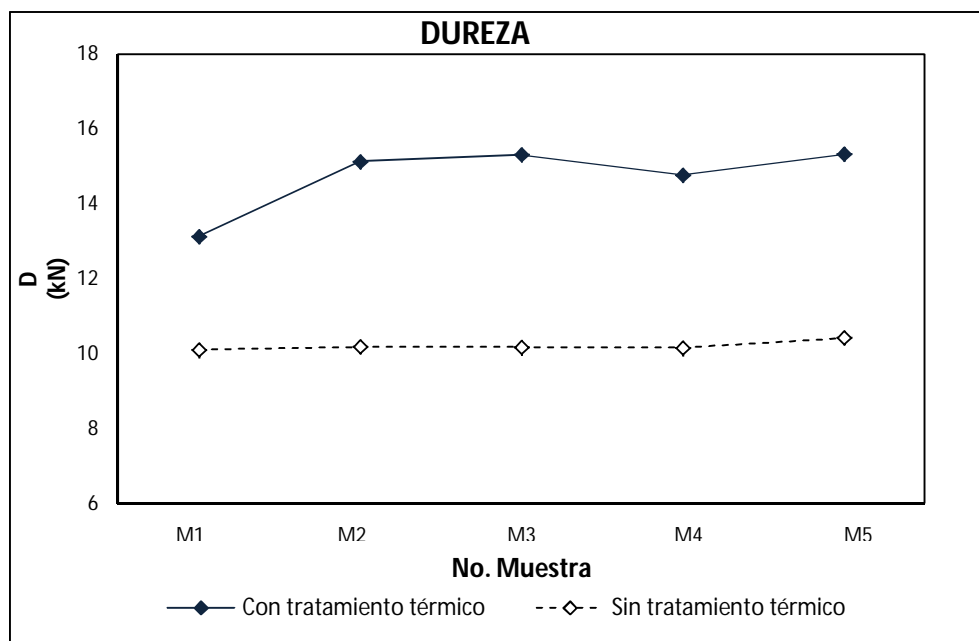


Figura 15. Efecto del tratamiento térmico en la dureza de los reestructurados tipo Roast Beef

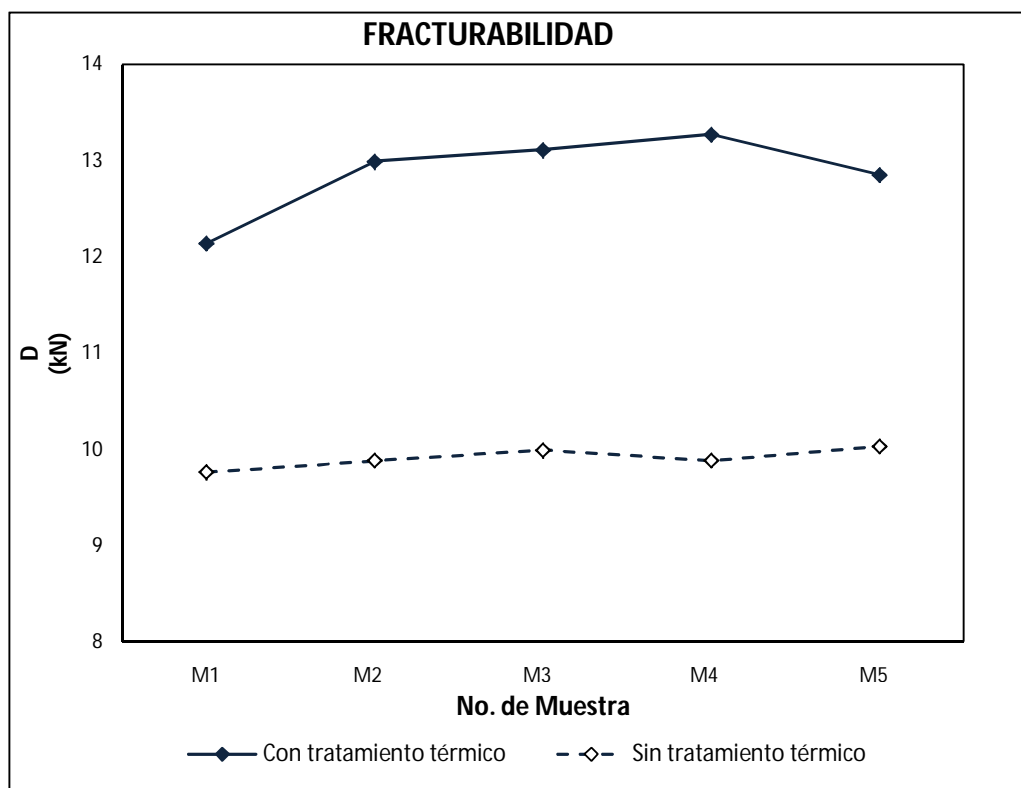


Figura 16. Efecto del tratamiento térmico en la fracturabilidad de los reestructurados tipo Roast Beef

El efecto del tratamiento térmico en la cohesividad se observa en la Figura 17, en la cual se presentan los resultados en una gráfica de telaraña con el fin de obtener un indicador de la visco-elasticidad de los productos reestructurados, ya sea hacia próximo a 1 lo que nos indicaría total elasticidad de las muestras o hacia 0 lo que nos dice que la muestra no se recuperó en absoluto. Los resultados obtenidos muestran que las muestras que no fueron sometidas a tratamiento térmico registran los valores más bajos de cohesividad 0.3450 en M1, 0.3447 para M2, 0.3455 en M3, 0.3451 para M4 y 0.3466 para la muestra M5, comparados con los reestructurados cárnicos que si llevaron tratamiento térmico en los cuales el menor fue de 0.3977 para el M4 y el mayor de 0.4001 en el M3. Sin embargo aunque los resultados son similares, si registraron una diferencia significativa ($\alpha=0.05$).

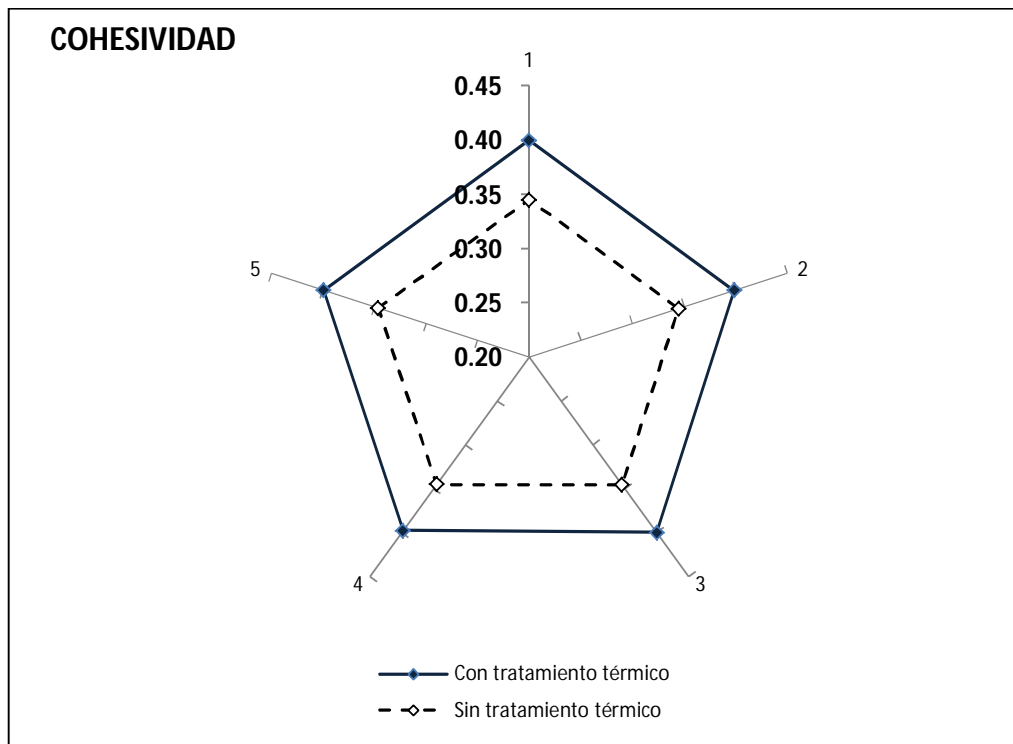


Figura 17. Efecto del tratamiento térmico en la cohesividad de los reestructurados tipo Roast Beef

En cuanto a los parámetros de textura, en la dureza y fracturabilidad se observa que los productos reestructurados sin tratamiento térmico son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$), comparados con los productos que no fueron sometidos, esto se debe a que el tratamiento térmico desnaturaliza las proteínas cárnicas y seca el producto dando lugar a estructuras más rígidas. Este aumento en la dureza y la fracturabilidad se debió principalmente por el tratamiento térmico; sin embargo comparando los valores con los datos de Cordray y Huffman 1994 en donde reportan valores de dureza de 11.23 kN y 11.98 kN para carne molida cocida a temperatura de 65°C, los resultados de esta investigación son mayores y se le atribuye al efecto de la mezcla de MTGasa y caseinato de sodio. De igual manera el aumento en los valores de dureza coinciden con los reportados por Torralba 2013 donde señale que se obtuvo una mayor actividad de la enzima al encontrarse en intervalos de su temperatura óptima de activación, pero también por el tiempo de reposo.

En la cohesividad de los productos reestructurados tipo Roast Beef también se encontró una diferencia apenas significativa ($\alpha=0.05$) entre las muestras con

tratamiento térmico, comparadas con aquellas que no se sometieron al tratamiento, esto nos indica una vez más que al encontrarse la enzima en condiciones óptimas de temperatura para realizar la función de enlace con las proteínas de la carne, se forma un gel con mayor visco-elasticidad y mayor índice de recuperación a la deformación. Estos resultados son mayores a los obtenidos por Soto 2008, donde reporta cohesividad de 0.22 a 0.25, también a los de Castro 2008 (de 0.24 a 0.27), esto puede deberse a que en ambos estudios se trabajó con carrageninas y sin tiempo de reposo o, a que en esta investigación la carne utilizada para la elaboración de los productos reestructurados tipo Roast Beef estuvo por un tiempo prolongado en congelación.

3.2.3. Color

Los resultados de color se observan en las Tablas 19 y 20, donde se muestra que los valores de luminosidad (L^*) son menores en los productos reestructurados cárnicos sometidos a tratamiento térmico, comparado con aquellos que no fueron sometidos. A diferencia de la luminosidad los valores de a^* y b^* aumentaron.

Tabla 19. Parámetros de color para los productos reestructurados con tratamiento térmico

| | MUESTRAS | | | | |
|------------|----------|-------|------|------|------|
| Parámetro | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| L^* | 29.31 | 27.52 | 30.1 | 29.9 | 27.5 |
| a^* | 18.8 | 18.5 | 15.6 | 20.3 | 21.4 |
| b^* | 9.13 | 11.3 | 9.11 | 11.1 | 13.6 |
| ΔE | 8.66 | 14.4 | 11.3 | 9.81 | 14.1 |

Tabla 20. Parámetros de color para los productos reestructurados sin tratamiento térmico

| | MUESTRAS | | | | |
|------------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Parámetro | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| L^* | 36.23 | 41.15 | 38.7 | 38.39 | 38.08 |
| a^* | 16.6 | 16.29 | 16.59 | 17.85 | 17.26 |
| b^* | 4.28 | 7.34 | 5.32 | 6.77 | 6.08 |
| ΔE | 4.09 | 8.5 | 5.96 | 6.99 | 6.14 |

En este objetivo si se encontró una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) en el color, a comparación del objetivo 1 en donde no hubo tal. Esta diferencia se debió

principalmente por el tratamiento térmico el cual provoca que la mioglobina de la carne se oxide y se desnaturalice dando colores más oscuros.

En la Figura 18 se muestran las posiciones de color obtenidas ingresando los valores de L^* , a^* y b^* en el software BabelColor CT&A de las muestras con y sin tratamiento térmico, se observa que las muestras que fueron sometidas a tratamiento térmico tienen una mayor tendencia hacia el color azul y el color rojo, lo cual se demuestra con el aumento en los parámetros a^* y b^* comparados con las muestras que no fueron sometidas a tratamiento térmico. También se puede notar la diferencia total de color ΔE en las gráficas, representada con la separación entre ambos puntos, en donde la muestra M3 tiene la menor diferencia (11.3) y la muestra M5 la mayor (14.1).

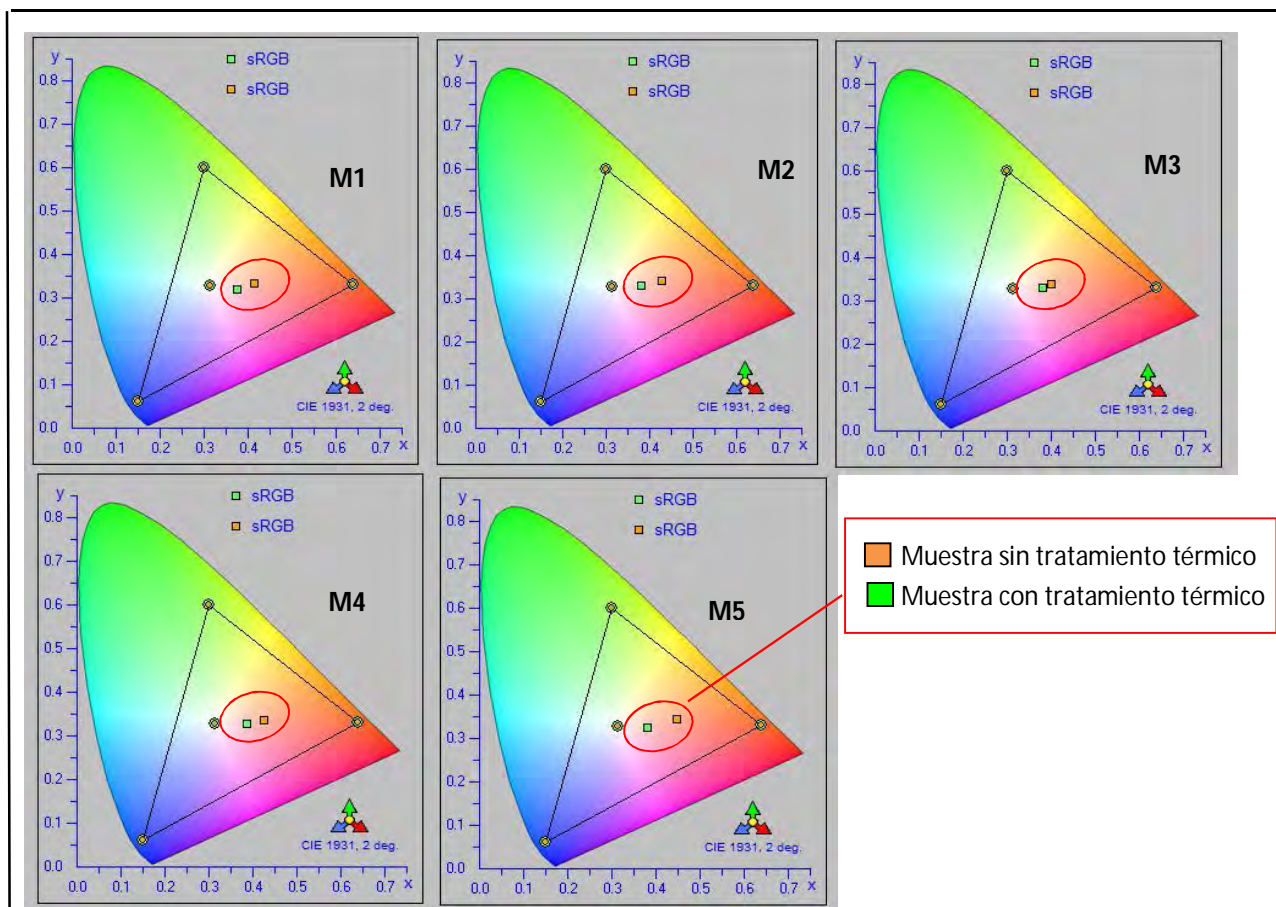


Figura 18. Posición de color donde se muestra la diferencia entre tratamientos

En la Figura 19 se observan los colores obtenidos mediante el software para cada muestra, donde se aprecia la diferencia de color entre cada una, claramente se ve que el efecto del tratamiento térmico cambia los parámetros de color.

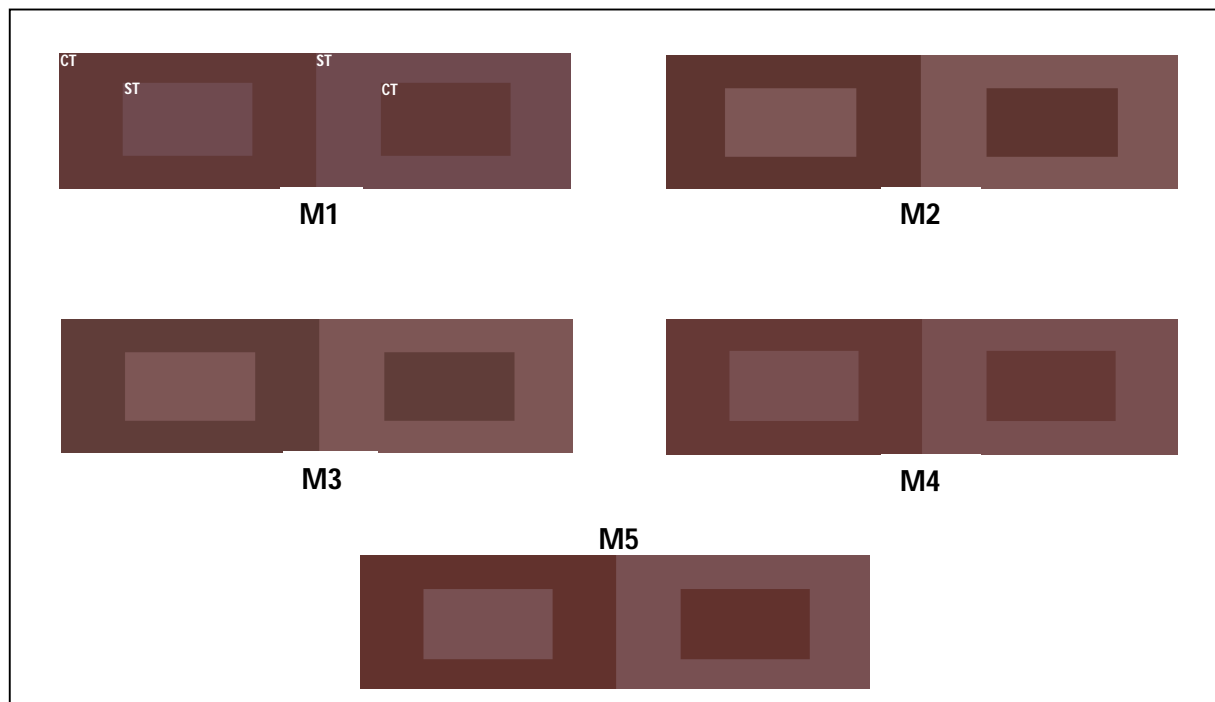


Figura 19. Colores de los tratamientos obtenidos mediante BabelColor CT&A

CT: Con tratamiento térmico, *ST*: Sin tratamiento térmico, a la derecha de cada tratamiento se muestran los colores invertidos.

En la literatura se encontraron valores mayores de luminosidad (L^*) como los de Flores 2009 ($L^*=56.04$), para productos sometidos a tratamiento térmico, esto se debe a que los productos que desarrollaron fueron jamones y son completamente diferentes a los productos reestructurados de res tipo roast beef. Lo mismo sucede con los parámetros a^* y b^* en los resultados de Castro 2008 ($a^*=4.06$, $b^*=10.01$), además de atribuirse al tipo de producto elaborado, puede ser deberse a la variedad de la raza de la cual se extrajo la carne para el estudio.

La pérdida de peso por el tratamiento térmico es un factor de gran importancia en la elaboración de productos cárnicos. La capacidad de un alimento para retener líquidos estará condicionada con la calidad, cantidad y tipo de proteínas presentes. Un aumento en la pérdida de agua puede ser por una gelificación incorrecta

(Whiting, 1988). Los resultados obtenidos muestran que la adición de 0.3% de MTGasa y 5% de Caseinato de sodio, disminuye las pérdidas de peso y aumenta la propiedad de dureza en los productos cárnicos. El aumento en la dureza que presentaron los tratamientos con mayor concentración de la mezcla respecto a los que contenían menor concentración de dicha mezcla, se puede explicar por la adición MTGasa, lo cual promueve la unión entre las proteínas, formando redes tridimensionales entre ellas (Ramírez *et al.*, 2007).

La baja intensidad en la desnaturalización de las proteínas, por falta de tratamiento térmico 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 (Jiménez *et al.*, 2005). El aumento en los valores de dureza mostraron que la MTGasa incrementa los enlaces entre las proteínas, aumentando las propiedades mecánicas de los productos cárnicos (Uresti *et al.*, 2003). Pero un requisito para que la enzima catalice el enlace de unión entre las proteínas es la suficiente exposición de lisina y glutamina, que 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 esta se presentó parcialmente en los productos reestructurados de res tipo roas beef que fueron sometidos a tratamiento térmico. Boyer *et al.*, 1996 sugieren que el mecanismo de unión o agregación de las proteínas miofibrilares por efecto del calor está influenciado por la fuerza iónica de las proteínas, el tipo, cantidad, calidad y propiedades de ellas (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 productos cárnicos con la adición de 0.3% de MTGasa por efecto de las condiciones de temperatura del tratamiento térmico 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 proteína. Cofrades *et al.*, 2006 mencionan que la diferencia existente entre la gelificación de las proteínas de la MTGasa está relacionada con la temperatura y tiempo de reposo, tipo de carne, presencia de algún otro aditivo y calidad de la proteína.

Los productos cárnicos que se sometieron a reposo y con tratamiento térmico presentaron los valores más altos en los parámetros de dureza. El tiempo de reposo y el calentamiento permitieron el aumento en las propiedades de textura; esto es por el aumento en la disposición de los grupos funcionales de las proteínas cárnicas (Cofrades *et al.*, 2006). La total unión de las proteínas de la carne, la completa actividad de la enzima durante el tiempo en que se dejaron los tratamientos en reposo y su posterior tratamiento térmico, está dada fundamentalmente por la completa desnaturalización y exposición de los sitios activos de las proteínas (Ramírez *et al.*, 2000).

Carballo *et al.*, 2006 mencionan que no existe un efecto por la adición de la enzima en la pérdida de peso por acción del tratamiento térmico. Mientras que Ramírez *et al.*, 2002 reportan que existe una disminución en la pérdida de peso cuando se agrega MTGasa durante la reestructuración, lo cual coincide con los resultados de este estudio.

Pietrazik y Shand, 2003, mencionan que al aumentar la estabilidad en la gelificación de las proteínas, disminuye la pérdida de peso. De esto se deduce que los tratamientos que fueron sometidos a tratamiento térmico y con tiempo de reposo, presentaron una menor pérdida de peso, comparados con aquellos tratamientos que no se sometieron a tratamiento térmico ni a tiempo de reposo.

Los cambios en la formación del color en productos cárnicos se deben principalmente a la acción del calor, el cual afecta directamente a la mioglobina oxidándola y en consecuencia modificando el color. Los cambios producidos por la temperatura de los alimentos se presentan principalmente en la textura, color y sabor (Bruton *et al.*, 2006).

En lo que respecta a la evaluación del color en los productos cárnicos elaborados en este estudio, se presentaron diferencias en la ΔE por las condiciones de reposo y de temperatura del tratamiento térmico, sin embargo las diferencias entre los valores encontrados no fueron significativas entre los tratamientos de cada lote, es decir, el uso de la mezcla MTGasa y Caseinato de sodio no provocó modificaciones en los atributos de color de los alimentos a los cuales se les adiciona. Serrano *et al.*, 2004 reportaron que la variabilidad en los atributos de color que presentó la carne fresca reestructurada de res fue atribuida principalmente al efecto de la refrigeración y al almacenamiento prolongado. Pietrazik *et al.*, 2003 no observó influencia alguna sobre los parámetros de color por efecto de la adición de la mezcla.

Boles y Shand, 1999 mencionan que el tiempo de reposo prolongado provoca los mayores cambios en el color, aunque esta variación fue atribuida principalmente a los métodos de almacenamiento utilizados. En este estudio, el tiempo de reposo de los productos cárnicos no produjo cambios significativos en los atributos de color, comparado con los tratamientos que no fueron sometidos a tiempos de reposo. Los análisis estadísticos en los atributos de color, indicaron que sí existieron cambios importantes por efecto del tratamiento térmico.

Los cambios presentados en los atributos de color están principalmente influenciados por la pigmentación que sufre la carne al ser cocida (Pietrazik, 2003).

CONCLUSIONES

1. Las pérdidas de peso en los productos reestructurados de carne de res sin reposo fue mayor que los productos que se sometieron a reposo y a tratamiento térmico.
2. La dureza y fracturabilidad de los reestructurados de res tipo Roast Beef mostró un incremento al aumentar la concentración de la mezcla de MTGasa y Caseinato de sodio, con resultados estadísticamente significativos en los lotes con reposo.
3. La cohesividad en los productos reestructurados que no fueron sometidos a tratamiento térmico es más baja comparada con los reestructurados cárnicos que si sufrieron tratamiento térmico y reposo. Sin embargo aunque los resultados son muy similares, sí registraron una diferencia significativa.
4. La mezcla de MTGasa y caseinato de sodio no influye en el color de los productos reestructurados de res tipo roast beef y este solo se modifica por acción del tratamiento térmico.
5. Se logró determinar la mezcla óptima de caseinato de sodio y transglutaminasa la cual fue de 0.3 % de MTGasa y 5% de Caseinato de sodio, además de que las mejores condiciones se consiguieron al aplicar reposo.
6. La enzima MTGasa y Caseinato de sodio con un tiempo de reposo de 12 h a 4°C en la elaboración de un producto térmico reestructurado de res tipo Roast Beef permiten obtener mejores características texturales y de estabilidad frente al tratamiento térmico en el proceso de reestructuración con una diferencia significativa ($\alpha=0.05$).
7. Fue posible elaborar productos cárnicos reestructurados de res, de calidad, estables frente al tratamiento térmico, utilizando cortes de bajo valor comercial.
8. Las condiciones recomendables de trabajo (con reposo y con tratamiento térmico) permiten reducir la cantidad necesaria de adición de MTGasa obteniendo resultados óptimos en cuanto a parámetros texturales y pérdidas de peso, con una diferencia significativa ($\alpha=0.05$), durante la elaboración de productos cárnicos reestructurados de res.

RECOMENDACIONES

El conocimiento obtenido de este estudio es de gran importancia para la elaboración de productos cárnicos reestructurados de res; sin embargo, es necesaria la investigación de la interacción de estas condiciones con otras variables, como la temperatura y otros tiempos de reposo, ya que en este estudio estas variables se mantuvieron constantes en los tratamientos, así como también el uso de aditivos como las carrageninas que son de importancia en la industria cárnica.

BIBLIOGRAFIA

1. Aggett, P. J. y Comerford, J. G. 1995. "Zinc and Human Health". *Nutrition Reviews*, 53(4): S16-S22.
2. Beard, J. y Stoltzfus, R. 2001. "Foreword- Iron deficiency Anemia: Reexamining the Nature and Magnitude of the Public Health Problem". *Journal of Nutrition*, 131: 563S.
3. Berry, B. W. 1987. "Texture in restructured meats. In A. M. Pearson" y R. T. Dutson (Eds.). *Advance in meat research*. Vol. 3, pp. 271-305. New York: Van Nostrand.
4. Berry, B. W.; Bigner-George, M. E. y Eastridge, J. S. 1999. "Hot processing and gridding size affect properties of cooked beef patties". *Meat Science*, 53 (1): 37-43.
5. Biesalski, H. K. 2005. Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet. *Meat Science*, 70 (3): 509-524.
6. BNF (British Nutrition Fundation). 1999. "Meat in the diet. Briefing paper".
7. Boles, J. A. y Shand, P. J. 1998. "Effect of comminution method and raw binder system in restructured beef". *Meat Science*, 49 (3): 297-307.
8. Booren, A. M.; Jones, K. W.; Mandingo, R. W. y Olson, D. G. 1981. "Effects of blade tenderization, vacuum mixing, salt addition and mixing time on binding of meat pieces into sectioned and formed beef steaks". *Journal of food Science*, 46: 1678-1680.
9. 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.
10. Cambero, M. I.; López, M. O; García de Fernando, G. D.; de la Hoz, L. y Ordoñez, J.A. 1991. "Restructured meats. II. Manufacture and marketing". *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 31 (4): 447-458.
11. Casp A. y Requena J. 2003. "Procesos de conservación de alimentos", 2ª ed. Madrid España.

12. Castro B. Narciso M. 2008. "Determinación de las condiciones óptimas en la reestructuración cárnica de res adicionando transglutaminasa microbiana". UNAM, México
13. Cavalloti V. Palacios V. 2003. "La ganadería mexicana en el nuevo milenio: Situación, alternativas productivas y nuevos mercados. Departamento de Zootecnia y CIESTAAM". Chapingo México.
14. Cofrades S., Ayo J., Serrano A., Carballo J. Jiménez C. 2006. "Walnut microbial transglutaminase and chilling storage time effects on salt-free beef batter characteristics". *Europe Food Research and Technology*, 222:458-466.
15. Cook, J. D. 1999. "Defining optimal body iron. *Proceeding of the Nutrition Society*", 58: 489-495.
16. Coon, F. P.; Calkins, C. R. y Mandingo, R. W. 1983. "Pre- and post-rigor sectioned and formed beef steaks manufactured with different salt levels, mixing times and tempering times". *Journal of Food Science*, 48: 1731-1734.
17. Cordray, J. C. y Huffman, D. L. 1984. "Restructuring of hot-processed meat". *In Proceedings Reciprocal Meat Conference*. Vol 36, pp. 74-81. American Meat Science Association Fargo, USA.
18. 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, p. 181 – 188.
19. Dondero M. Figueroa V. Morales X. Curotto E. 2006. "Transglutaminase effects on gelation capacity of thermally induced beef protein gels" *Food Chemistry*, 90, p. 546 – 554.
20. Flores, H. A.; Kastner, C. L.; Kropf, D. H. y Hunt, M. C. 1986. "Effects of blade tenderization and trimming of connective tissue on hot-boned restructured, pre-cooked roast from cows". *Journal of Food Science*, 51: 1176-1179.
21. Flores – Peinado S. 2009. "Efecto del tiempo de ayuno y el método de aturdimiento sobre el bienestar y características fisicoquímicas de la carne de conejo. UNAM, México

22. Fort N. Carretero C. Parés D. Toldrà M. Saguer E. 2007. "Combined treatment of porcine plasma with microbial transglutaminase and cysteine: Effects on the heat-induced gel properties" *Food Hydrocolloids*, 21, p. 463 – 471.
23. Fort N. Carretero C. Saguer E. 2008 "Simultaneous application of microbial transglutaminase and high hydrostatic pressure to improve heat induced gelation of pork plasma" *Meat Science*, 80, p. 938 – 943.
24. Gracey J.E. 1989. "Higiene de la carne". 8ª ed. Interamericana McGraw Hill, Madrid España.
25. Hallberg, L.; Brune, M. y Rossander, L. 1989. "Iron absorption in man ascorbic acid and dose dependent inhibition by phytate". *The American Journal of Clinical Nutrition*, 49: 140-144.
26. Hie-Jong K. Hyo S. 1999. "Investigation of transglutaminase – induced peptide crosslinking." *Bull Korean Chemistry. Soc.* 20, 11.
27. Higgs, J. D. 2000. "The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality". *Trends in Food Science and Technology*, 11(3), 85-95.
28. Huffman, D. L. y Cordray, J. C. Processing systems. 1982. "Particle reduction systems (grinding, flaking, chuking, slicing)". In *Meat Science and Technology. International Symposium. Proceedings.* Franklin, R.K. y Cross, H. R. (Eds.). Lincoln, Nebraska.
29. Huffman, D. L.; Ande, C. F.; Cordray, J. C; Stanley, M. H. y Egbert, W. R. 1987. "Influences of polyphosphate on storage stability of restructured beef and pork nuggets". *Journal of Food Science*, 52: 275-278.
30. Hui H., Guerrero y Rosmini M. 2006. "Ciencia y Tecnología de Carnes", Limusa, México pp. 634.
31. Hunt, J. R.; Gallagher, S. K; Johnson, L. K. y Lykken, G. I. 1995. "High- versus low meat diets: effects on zinc absorption, iron status, and calcium, copper, iron, magnesium, manganese, nitrogen, phosphorus and zinc balance in postmenopausal women". *American of Clinical Nutrition*, 62: 621-632.

32. Hunt, M. C. y Kropf, D. H. Color and appearance. In Pearson, A. M., Dutson, R. T. (Eds.). 1987. "Restructured meat and poultry products". *Advance in meat research*, vol. 3, pp 125-159. Van Nostrand. New York.
33. Jimenez C., Ayo M., Carballo J. "Physicochemical properties of low sodium frankfurters with added walnut: effect of transglutaminase combines with caseinate KCL and dietary fibre as salt replacers". *Meat Science*, 69: 781-788.
34. Johnson, J. M. y Walker, P. M. 1992. "Zinc and iron utilization in young women consuming a beef-based diet". *Journal of American Dietetic Association*, 12: 1474-1478.
35. Jong G. y Koppelman S. 2002. "Transglutaminase catalyzed reaction: impact on food application". *Journal of Food Science*, 67:2798-2806.
36. Judge, M.D., Aberle, E.D., Forrest, J.C., Hedrick, H.B. y Merkel, R.A. 1988. "Principles of meat science". Kendall-Hunt Publishing, cp. Dubuque, Iowa.
37. Kim S. Carpenter J. Lanair T. Wicker L. 1993. "Polimerization of beef actomyosin induced by transglutaminase." *Journal of Food Science*, 58, p. 473 – 474.
38. Kingsley K. Youling L. 2008. "Influence of salt and pH on the solubility and structural characteristics of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate" *Food Chemistry*, 107, p. 1131 – 1137.
39. Kuraishi, C.; Sakamoto, J.; Yamazaki, K.; Susa, Y.; Kuhara, C. y Soeda, T. 1997. "Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking". *Journal of Food Science*, 62: 488-490, 515.
40. Lamkey, J. W.; Mandingo, R. W. y Calkins, C. R. 1986. "Effect of salt and phosphate on the texture and color stability of restructured beef steaks". *Journal of Food Science*, 51: 873-875.
41. 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.
42. Libby J.A. 1981. "Higiene de la carne". Ed. Continental, México.

43. Mandigo, R. W. 1988. "Restructured meats". *In Developments in Meat Science-4*. Lawrie, R. (Ed.). Pp 297-315. Elsevier, New York.
44. Mandigo, R. W. 1988. "Restructured meats". *In Developments in Meat Science-4*. Lawrie, R. (Ed.). Pp 297-315. Elsevier, New York.
45. Mandingo, R. W. 1974. "Restructured meat products". Proceedings 27th Recip. Meat Conference, 27.
46. Miller, A. J.; Ackerman, S. A. y Palumbo, S. A. 1980. "Effects of frozen storage on functionality of food processing". *Journal of Food Science*, 45: 1466-1471.
47. Moreiras, O.; Carbajal, A.; Cabrera, L. y Cuadrado, C. 2003. "Tablas de composición de alimentos". (7º Ed.). Ediciones Pirámide. Madrid. España.
48. Mulvihill, B. 2004. "Micronutrients in meat. *In Encyclopedia of Meat Sciences*". Jensen, W.; Devine, C. y Dikemann, M. (Eds.). Vol. II. pp. 618-623. London, UK: Elsevier Science Ltd.
49. Noble, B. J.; Seideman, S. C.; Quenzer, N. M y Costello, W. J. 1985. "The effect of slice thickness and mixing time on the palatability and cooking characteristics of restructured beef steaks". *Journal of Food Quality*, 7: 201-208.
50. NOM-213-SSA1-2002. Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias.
51. Nonaka, M.; Tanaka, H.; Okiyama, A.; Motoki, M.; Ando, H.; Umeda, K. y Mansura, A. 1989. "Polymerization of several proteins by Ca independent transglutaminase derived from micro-organisms". *Agriculture Biological Chemistry*, 53: 2619-2623.
52. Pepper, F. H y Schmidt, G. R. 1975. "Effect of blending, time, salt, phosphate and botboned beef during binding strength and cook yield beef rolls". *Journal of Food Science*, 40: 227-231.
53. Pietrazik Z. y Shand P. 2003. "The effect of quantity and timing of brine addition on water binding and textual characteristics of cooked beef rolls. *Meat Science*, 65: 771-778.

54. Prändl O., Fischer A., Hands-Jurgen T. 2001. "Tecnología e higiene de la carne ed. Acribia.
55. Price J.F., Schweigert B.S. 2001. "Ciencia de la carne y de los productos cárnicos". 2ª ed. Acribia.
56. Raharjo, S.; Dexter, D. R.; Worfel, R. C.; Sofos, J.; Solomon, M. B.; Shults, G. W. y Schmitt, G. R. 1995. "Quality characteristics of restructured beef steaks manufactured by various techniques". *Journal of Food Science*, 60 (1): 68-71.
57. Ramirez J.C. Addo K. Xiong Y.L. 2005. "Gelation of mixed myofibrillar/wheat gluten proteins treated with microbial transglutaminase" *Food Research. Int.*, 38, p. 1143 – 1149.
58. RCSPyS (Reglamento Control Sanitario de Productos y Servicios) <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rcsps.html>, 1999
59. Rolan, T. L.; Davis, G. W.; Seideman, S. C.; Wheelen, T. L. y Miller, M. L. 1988. "Effects of blade tenderization and proteolytic enzymes on restructured steaks from beef bullock chucks". *Journal of food Science*, 53 (1): 1062-1064.
60. Ruiz F., Cavalloti V., Villegas A., Ramírez S., Armendáriz M. 2001. "Diagnóstico del sector pecuario en México rural: Políticas para su reconstrucción". Chapingo México.
61. Sackmann, A. I. Boothroyd 2003. "Our Sun. V. A Bright Young Sun Consistent with Helioseismology and Warm Temperatures on Ancient Earth and Mars". *The Astrophysical Journal* 583 (2): pp. 1024-1039.
62. Sandstead, H. H.; Darnell, L. S. y Walwork, J. C. 1990. "Role of zinc and the contribution of meat to human nutrition". *In Meat and Health. Advances in Meat Research*. A. M. Pearson y T. R. Dutson (Eds.). Vol. 9, pp. 237-274. Elsevier Applied Science. London.
63. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) <http://www.sagarpa.gob.mx> citado noviembre 2009.
64. Secrist, J. L. 1987. "Restructured meats. The past and the present". *In Advances in Meat Research*. Restructured meat and poultry products. A. M. Pearson y T. R. Dutson. (Eds.). Vol. 3. Nueva York.

65. Seideman, S. C.; Quenzer, N. M.; Dulanc, R. y Costollo, W. J. 1982. "Effects of hotboning and particle thickness on restructured beef steaks". *Journal of Food Science*, 47:1008-1009.
66. Serrano A. Cofrades S. Jiménez C. 2004. "Transglutaminase as binding agent in fresh restructured beef steak with added walnuts." *Food Chemistry*. 85, p. 423 – 429.
67. Serrano Agullo Ma. Asunción. 2006. "Desarrollo de reestructurados cárnicos potencialmente funcionales mediante la incorporación de nuez." Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
68. Sheard, P. R. 2002. "Processing and quality control of restructured meat". *Meat processing. Improving quality*. Kerry, J.; Kerry, J. y Ledward, D. (Eds.). Pp. 333-358. Woodhead Publishing Limited. England.
69. Sheard, P. R. 2002. "Processing and quality control of restructured meat". *Meat processing. Improving quality*. Kerry, J.; Kerry, J. y Ledward, D. (Eds.). Pp. 333-358. Woodhead Publishing Limited. England.
70. Soto Ana L. 2008. "Efecto de la interacción de transglutaminasa y diferentes tipos de carragenina sobre las características de productos cárnicos reestructurados de res". UNAM, México.
71. Suárez – Domínguez H, Tirado – López Q. 2009. "La ganadería bovina productora de carne en México". Situación actual, <http://agrinet.tamu.edu> consultado noviembre.
72. Torralba, Gordillo, H., 2013. "Efecto del uso de transglutaminasa de origen microbiano en la elaboración de medallones reestructurados de carne congelada de pavo". UNAM, México.
73. Trout, G. R. y Schmidt, G. R. 1987. "No protein additives". In *advances in Meat Research*. Vol 3. "Restructured meat and poultry products". Eds. Pearson, A. M. y Dutson, T. R. Avi Publisher. Nueva York.
74. Urbain W. y Campbell J. 1999. "La conservación de la carne". Zaragoza, España.

75. Uresti R., Velázquez G., Vázquez M., Ramírez J., Torres. 2006. "Effects of combining microbial transglutaminase and high pressure processing treatments on the mechanical properties of heat-induced gels prepared from arrow tooth flounder". *Food Chemistry*, 94: 202-209.
76. Venegas F. 1999. "Clasificación de productos cárnicos. Instituto de investigaciones para la industria alimenticia". *Revista cubana de alimentos Nutri*. 13 (1): 63-7.
77. Walker, A. R. P. 1998. "The Remedying of Iron Deficiency: What Priority Should it Have?" *British of Journal Nutrition*. 79: 227-235.
78. Whiting, R. G.; Strange, E. D; Cronlund, A. L y Miller, A. J. 1987. "Effect of connective tissues on the sensory textural scores and shear forces of restructured beef steaks". In Proceedings on 33rd International Congress of Meat Science and Technology. European Meeting of Meat Research Workers. Vol. 2. Helsinki, Finlandia.
79. Wijngaards, G. y Paardekooper, E. J. C. 1988." Preparation of a composite meat product by means of an enzymatically formed protein gel". In Trends in modern meat technology. II Proceedings of the international symposium, Den Doldes, Netherlands.
80. Wong P.C. 1994. "Química de los alimentos: mecanismos y teorías". Acribia, Zaragoza.
81. Zheng, J. J.; Mason, J. B.; Rosenberg, I. H. y Wood, R. J. 1993. "Measurement of zinc bioavailability from beef and a ready-to-eat high-fiber breakfast cereal". *Food Chemistry*, 45:320-326.