



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

EFFECTO DEL USO DE TRANSGLUTAMINASA DE ORIGEN  
MICROBIANO EN LA ELABORACIÓN DE MEDALLONES  
REESTRUCTURADOS DE CARNE CONGELADA DE PAVO

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Presenta

**HERIBERTO TORRALBA GORDILLO**

Asesores:

DRA. ADRIANA LLORENTE BOUSQUETS

M. EN A. JORGE LÓPEZ PÉREZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



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

U. N. A. M.

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 Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: TESIS

Efecto del uso de transglutaminasa de origen microbiano en la elaboración de medallones reestructurados de carne congelada de pavo

Que presenta el pasante: Heriberto Torralba Gordillo  
 Con número de cuenta: 406049995 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 29 de noviembre de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	Dra. Carolina Moreno Ramos	
SECRETARIO	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
1er SUPLENTE	IA. Patricia Mpiñoz Aguilar	
2do SUPLENTE	IA. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).  
 HHA/pm

**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

A **Dios**, por darme todas las herramientas necesarias que me permiten cerrar un ciclo más en mi vida, porque más que obstáculo fue un reto que me dio mayor certeza, fortaleza y confianza. Dios eres la razón de mi existir, mi universo, mi padre, mi amigo, mi fuerza, mi sustento, mi protector, mi alegría, en fin eres mi punto de partida y mi final, gracias por usar mi vida, por creer y cumplir tus sueños en mí, porque tu gracia es suficientemente capaz de conmover el corazón de muchas personas, solo para bendecirme, te amo por siempre y eternamente te diré gracias.

A la **Dra. Adriana Llorente Bousquets** y al **M. en A. Jorge López Pérez**, porque me brindaron todo su apoyo y confianza como personas y como docentes, gracias por sus consejos, comentarios y facilidades otorgadas para concluir con este ciclo; aunque estos renglones no son suficientes para enumerar el apoyo incondicional que me otorgaron, los admiro y valoro por la sencillez que los caracteriza. Inicio ahora una nueva etapa en mi vida que ha sido posible gracias a su dedicación y apoyo excepcional

Al **Dr. José Luís Arjona Román** y a la **M. en C. Rosalía Meléndez Pérez**, por sus críticas y por la facilitación de equipo, que contribuyo para llevar a cabo el cierre de este ciclo. Así como los profesores **Jorge Rico Pérez, Ana María de la Cruz, María Guadalupe López Franco**, que en conjunto mostraron un total apoyo para concluir la investigación.

A la **Ing. Zaira Guadarrama Álvarez**, por su apoyo en el análisis de los resultados de dureza.

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

A mis compañeros de Taller de cárnicos y amigos de generación 29's, 30's y 31's en especial a **Linda, Maricela, Ivonne Mtz, Isaura, Ariana, Lizeth, Vianney, Laura, Claudia Glez., Claudia E. Rosado, Vero Estrella, Jennifer, Alicia, Jonathan, Tania, Adriana, Ivonne (betyvonne), Idalia, Carla María Blanco, Olivia, Flor, Ivette, Mariela, Aura, y Fernando y Carmen Martínez Trejo** ya que cada uno de ustedes, directa e indirectamente, ha sido fundamental en la trayectoria académica y en la realización de esta tesis, aunque entre amigos no damos las gracias permanentemente, en ocasiones es necesario expresarlo con gratitud, por eso les doy mil gracias por todo su apoyo brindado.

**No vayas por donde el camino te lleve, ve en cambio por donde no hay camino y dejas huella.**

# DEDICATORIAS

A mis padres **Francisco y Ana:**

Gracias porque me dieron la vida, porque me dieron un hogar, la oportunidad de estudiar, y hoy más que nunca gracias por darme una carrera para tener un mejor porvenir, por creer en mí, por brindarme sus consejos, su apoyo incondicional y todo su amor.

Les agradezco con amor y cariño porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para que yo me educara y formara, porque sin su ejemplo de superación, comprensión y confianza, no hubiera sido posible la culminación de este gran ciclo, el objetivo logrado también es de ustedes y la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su apoyo, porque he logrado concluir con una etapa más en mi vida; con bases sólidas para poder afrontar las situaciones que se presenten por más complicadas que estas parezcan. Gracias por los valores que me han inculcado; los amo, admiro y respeto.

A mis abuelos **Aureliano †, Eleazar †, Margarita y Engracia;** porque pasamos momentos maravillosos e inolvidables desde la infancia y sus consejos han sido siempre sabios y de mucha ayuda.

A mi hermana **Arisbeth,** porque hemos compartido momentos maravillosos desde la infancia y en momentos difíciles ha estado ahí para apoyarme; ¿Quién soy para ti? no sé, pero lo que si se, es que soy alguien que te entiende, que conoce tu forma de pensar y sabe lo que te gusta o no te gusta, alguien que escribe porque me hace pensar en ti y así darte una razón más para que pienses porque te quiero.

A mis sobrinos **Brian, Jonathan y Brandon;** porque hemos compartido momentos de mucha felicidad, por ustedes que saben que más que su tío soy su amigo incondicional, los quiero mucho y que si requieren de un consejo, ahí estaré para proporcionárselos.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza
<b>ATP</b>	Adenosín Trifosfato
<b>Aw</b>	Actividad de Agua
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>CD</b>	Cedazo
<b>cm</b>	centímetros
<b>CNA</b>	Consumo Nacional Aparente
<b>CRA</b>	Capacidad de Retención de Agua
<b><i>et al.</i></b>	y col.
<b>etc.</b>	etcétera
<b>EUA</b>	Estados Unidos de América
<b>FAOSTAT</b>	(Food and Agriculture Organization of the United Nations) Estadística de la Organización para la Alimentación y la Agricultura
<b>FAO</b>	(Food and Agriculture Organization) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>g</b>	gramos
<b>h</b>	horas
<b>kcal</b>	kilocalorías
<b>kDa</b>	kilodaltons
<b>kg</b>	kilogramos
<b>kg f</b>	kilogramo fuerza
<b>mg</b>	miligramos
<b>min</b>	minutos
<b>ml</b>	mililitros
<b>mm</b>	milímetros
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>pH</b>	potencial de Hidrógeno
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
<b>SCFI</b>	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
<b>SSA</b>	Secretaría de Salud
<b>T</b>	Temperatura
<b>t</b>	Tiempo
<b>TGasa</b>	Transglutaminasa de origen tisular
<b>TGm</b>	Transglutaminasa de origen microbiano
<b>TIF</b>	Tipo Inspección Federal
<b>Ton</b>	toneladas
<b>USDA</b>	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
<b>%</b>	Por ciento
<b>%W</b>	Porcentaje en Peso o masa

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
Resumen.....	8
Introducción.....	9

### CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1. Marco Teorico.....	10
1.1. Materia prima cárnica congelada.....	11
1.2. Productos cárnicos reestructurados.....	14
1.3. Definición.....	15
1.4. Producción de reestructurados.....	16
1.5. Carne de pavo.....	17
1.5.1. Producción y consumo.....	17
1.5.1.1. Producción congelado.....	21
1.5.1.2. Mercado.....	23
1.5.2. Valor nutrimental y composición química.....	24
1.5.3. Productos cárnicos de pavo.....	25
1.5.4. Conservación de la carne de pavo.....	26
1.6. Transglutaminasa.....	28
1.6.1. Función de la Transglutaminasa.....	30
1.6.2. Mecanismo de acción de la Transglutaminasa en alimentos.....	32
1.7. Métodos de evaluación de la estabilidad del producto.....	34
1.7.1. Evaluación de dureza.....	35
1.7.2. Evaluación de sinéresis.....	36

### CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2. Metodología Experimental.....	37
2.1. Objetivos.....	38
Objetivo general.....	38
Objetivos particulares.....	38
Hipótesis.....	39

2.2. Diseño experimental.....	39
2.3. Cuadro metodológico.....	40
2.4. Diagrama de bloques.....	41
2.5. Descripción del proceso.....	42
Descongelado de canal de pavo.....	42
Deshuesado de canal de pavo.....	42
Molienda de carne de pechuga de pavo.....	43
Adición de transglutaminasa y mezclado de carne .....	43
Moldeado de mezcla de carne .....	44
Empacado a vacío y tratamiento térmico .....	44
Refrigeración de reestructurado .....	45
Obtención de Medallones de carne de pavo.....	45
2.6. Actividades preliminares.....	45
Caracterización de material y equipo.....	45
Procedimiento de deshuesado de canal de pavo.....	46
Medición de pH en carne de pavo.....	47
Determinación de carne necesaria para elaborar un medallón.....	48
Tratamiento térmico a medallones de pavo.....	48
Determinación de sinéresis a medallones reestructurados.....	49
Evaluación de dureza a medallones reestructurados.....	51

### **CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

3.0 Análisis y discusión de resultados.....	53
Conclusiones.....	91
Recomendaciones.....	92
Bibliografía Citada.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de desnaturalización de proteínas globulares durante el almacenamiento en congelación de la carne.....	13
Figura 2	Producción nacional 2012 de carne de pavo en canal.....	20
Figura 3	Producción nacional de carne de pavo en canal año 2012 .....	21
Figura 4	Reacciones catalizadas por transglutaminasa .....	33
Figura 5	Estructura (a) TGasa de origen tisular y (b) TGm de origen microbiano de <i>Streptomyces mobaraense</i> .....	34
Figura 6	Reestructurado de carne de pavo .....	41
Figura 7	Descongelación de canal de pavo.....	42
Figura 8	Deshuesado de canal de pavo .....	42
Figura 9	Molienda de carne de pechuga de pavo.....	43
Figura 10	Adición de TGm y mezclado de carne .....	43
Figura 11	Moldeado de mezcla de carne.....	44
Figura 12	Empacado a vacío y tratamiento térmico de moldes con pasta cárnica.....	44
Figura 13	Refrigeración de moldes con reestructurado .....	44
Figura 14	Medallones de carne de pavo.....	45
Figura 15	Material y equipo para elaboración de reestructurado .....	45
Figura 16	Procedimiento de deshuesado de canal de pavo .....	46
Figura 17	Medición de pH en carne de pavo.....	47
Figura 18	Tratamiento térmico a medallones de pavo .....	49
Figura 19	Procedimiento de medición de sinéresis en medallones de pavo.....	50
Figura 20	Procedimiento de evaluación de dureza en medallones de pavo .....	52
Figura 21	Gráfica de resultados de sinéresis de medallones de carne de pavo contra tiempo de reposo sin tratamiento térmico a las 0 y 48 h .....	59
Figura 22	Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo (0 18 48 y 120 h) y sin tratamiento térmico con y sin TGm .....	63
Figura 23	Gráfica de resultados de sinéresis de medallones de pavo contra tiempo de reposo (18 48 y 120 h) y tratamiento térmico con y sin TGm .....	67
Figura 24	Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo (18 48 y 120 h) y tratamiento térmico con y sin TGm .....	71

Figura 25 Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico con y sin TGm. ....	75
Figura 26 Gráfica de resultados de sinéresis de medallones de pavo contra tiempo de reposo y tratamiento térmico a las 18 48 y 120 h con y sin tratamiento térmico con y sin TGm.....	80
Figura 27 Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo y sin tratamiento térmico a las 0 y 48 h con y sin TGm.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ejemplos de productos cárnicos reestructurados .....	15
Tabla 2 Primeros 10 países productores de pavo en el mundo año 2000 y año 2009(Ton) .....	19
Tabla 3 Composición de la grasa en la carne de ave.....	24
Tabla 4 Vitaminas y Minerales en carne de pavo .....	25
Tabla 5 Masa molecular de las diferentes isoformas de transglutaminasa .....	28
Tabla 6 Aplicación de transglutaminasa microbiana en alimentos.....	31
Tabla 7 Resultados globales de sinéresis de medallones de pavo en los lotes con reposo con y sin tratamiento térmico y TGm.....	54
Tabla 8 Resultados globales de dureza de medallones de pavo en los lotes con reposo con y sin tratamiento térmico y con reposo sin tratamiento térmico con TGm	54
Tabla 9 Resultados de sinéresis de medallones de pavo en los lotes con reposo y sin tratamiento térmico con TGm.....	56
Tabla 10 ANOVA de dos vías para sinéresis de medallones de pavo con reposo y sin tratamiento térmico.....	57
Tabla 11 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al tiempo de reposo 0 y 48 h de reposo y sin tratamiento térmico .....	57
Tabla 12 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al % de TGm 0 y 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.....	58
Tabla 13 Resultados del efecto del tiempo de reposo en la dureza de medallones de pavo sin tratamiento térmico con TGm.....	60

Tabla 14	ANOVA de dos vías de los resultados de dureza de medallones de pavo sin y con reposo sin tratamiento térmico.....	61
Tabla 15	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo sin reposo contra 18 48 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico.....	61
Tabla 16	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TG sin reposo contra 18 48 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico.....	62
Tabla 17	Resultados de sinéresis de medallones de pavo en los lotes con reposo y con tratamiento térmico a las 18 48 y 120 h con y sin TGM.....	64
Tabla 18	ANOVA de dos vías de los resultados de sinéresis de medallones de pavo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico .....	64
Tabla 19	Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al tiempo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.....	65
Tabla 20	Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al % de TGM con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.....	66
Tabla 21	Resultados de la medición de dureza de medallones de pavo en los lotes con reposo con tratamiento térmico y TGM .....	68
Tabla 22	ANOVA de dos vías para dureza de medallones de pavo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.....	68
Tabla 23	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.....	69
Tabla 24	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGM con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.....	70
Tabla 25	ANOVA de dos vías para dureza de medallones de pavo con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico.....	72
Tabla 26	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico .....	73
Tabla 27	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGM con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico.....	73
Tabla 28	ANOVA de dos vías para sinéresis de medallones de pavo con 18 48 y 120h de reposo con y sin tratamiento térmico.....	76
Tabla 29	Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al tiempo con 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico.....	77

---

Tabla 30	Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al % de TGm con 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico.....	77
Tabla 31	ANOVA de dos vías para dureza de medallones de pavo sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.....	81
Tabla 32	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.....	81
Tabla 33	Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGm sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.....	82
Tabla 34	Resultados de las pruebas de hipótesis de medallones de pavo.....	84
Tabla 35	Resultados de sinéresis y dureza de medallones de pavo .....	89

## RESUMEN

La preferencia por el consumo de carne de pavo se ha incrementado en los últimos años al ser incorporada en la dieta por ser un alimento magro, fácil de digerir, de bajo contenido en grasa saturada y colesterol. En el mercado se pueden encontrar gran diversidad de productos cárnicos procesados ya que constituye una excelente materia prima. El bajo costo por tonelada de pulpa de pavo deshuesada mecánicamente, ha favorecido el desarrollo de nuevos alimentos de alto valor agregado. La funcionalidad de la pulpa de pavo facilita su utilización en productos cárnicos procesados, los cuales son formulados con diversos ingredientes funcionales, además de la adición de enzimas con actividad reestructurante denominadas Transglutaminasas, las cuales facilitan el desarrollo de diversos productos cárnicos conocidos como reestructurados. Estas enzimas inducen la formación de enlaces covalentes que mejoran la textura 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 una transglutaminasa de origen microbiano (TGm) en el desarrollo de un producto reestructurado en forma de medallón, elaborado a base de pulpa de pavo congelado, almacenado 10 meses a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Se utilizó un diseño experimental de 2 vías (ANOVA) para el desarrollo de lotes de medallones reestructurados de carne de pavo, adicionados de la enzima TGm (0.0065%, 0.05%, 0.1% y 0.3%), sometidos a diferentes tiempos de reposo (18h, 48h y 120h) y como control un lote sin TGm y sin reposo. Una vez preparados todos los medallones, fueron envasados al vacío en bolsas Cryovac™ con una Envasadora Mod. A300/16 y sometidos a tratamiento térmico en baño de agua durante 30 min a  $55^{\circ}\text{C}$  y posteriormente se almacenaron en refrigeración a  $4^{\circ}\text{C}$ , tras lo cual fueron evaluados en su estabilidad mediante la medición de sinéresis y dureza.

Los medallones reestructurados de carne de pavo presentaron mayor dureza en los lotes tratados térmicamente, respecto de los que no recibieron tratamiento térmico, observando los valores más altos al aumentar el tiempo de reposo.

En cuanto a la sinéresis observada, esta es menor en los medallones tratados térmicamente. Los resultados obtenidos muestran que no tuvieron diferencia significativa al analizar el efecto de los tiempos de reposo, sin embargo en el lote adicionado con 0.1% de TGm se presentó la mayor sinéresis y dureza, en el lote sin tratamiento térmico.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca el desarrollo de un producto que permita nuevas alternativas para aprovechar la carne de la canal completa del pavo, excluyendo la piel, para responder a la actual demanda de carne magra, con base en las propiedades que tiene la TGm, ya que los productos reestructurados se obtienen de productos cárnicos que no tienen una textura o forma adecuada para su venta como producto fresco. Se reestructura para que el producto obtenido se parezca lo máximo posible a filetes, carne para asado o cualquier tipo de producto original.

En la estructura básica de un reestructurado las proteínas están en forma de gel, pero no por tratamiento térmico ni por disminución del pH, sino por enzimas como la transglutaminasa, que forma enlaces con las proteínas de la carne.

En Estados Unidos y Japón se emplea esta tecnología, mientras que en México casi no; sin embargo existe el interés en responder a la alta demanda de productos cárnicos listos para consumo o de rápida cocción, en porciones individuales, con menor contenido de grasa y sal que los productos habituales, así como también a la transformación de cortes y recortes de bajo valor comercial en nuevos productos de elevado valor agregado, aumentando el rendimiento económico de las canales de los animales, en este caso las de pavo.

Este proyecto está orientado a la obtención de un alimento listo para consumo que simule un músculo intacto, lo cual no lo transforma en un reemplazo de los cortes musculares intactos de alta calidad sino que es un medio para expandir el mercado de los productos cárnicos. Aunque la transglutaminasa de origen microbiano (TGm) no se encuentra en la lista de aditivos autorizada por el *Codex Alimentarius*; se toma como referencia la del USDA, que sí permite su uso como aditivo alimentario hasta 65 partes por millón (0.0065%).

La TGm es activa en un rango de pH, entre 5 y 9 y en un intervalo de temperatura entre 4 y 75 °C, siendo 55 °C su temperatura óptima, inactivándose cuando se calienta a 80 °C por un tiempo de 15 min.

---

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

## 1.1 MATERIA PRIMA CÁRNICA CONGELADA

Carne es la estructura compuesta por fibra muscular estriada, acompañada o no de tejido conjuntivo elástico, grasa, fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos de las especies animales autorizadas para consumo humano, que no han sido sometidas a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características organolépticas y fisicoquímicas (NOM-158-SCFI-2003).

La carne es el tejido animal usado como alimento. Se subdivide en categorías basándose en la concentración del pigmento mioglobina en: carnes rojas y blancas. En aves es la parte muscular constituida por todos los tejidos blandos que rodean la estructura del esqueleto. Incluye la piel, cobertura grasa, tendones, vasos, nervios, aponeurosis y tejidos que no se separan durante la manipulación (Orihuela *et al.*, 2010).

La congelación, es el método de conservación físico que se efectúa por medio de equipo especial para lograr una reducción de temperatura de los productos en su centro térmico a máximo  $-18^{\circ}\text{C}$ , reduciendo los cambios enzimáticos y microbiológicos (NOM-034-SSA1-1993).

La congelación en la conservación de alimentos, es tal que la mayor parte del agua contenida en ellos se encuentre en forma de hielo. Los primeros procedimientos de congelación consistían en colocar en las cámaras de refrigeración la carne, a  $-10^{\circ}\text{C}$  y sin movimiento de aire, demorando hasta una semana en obtener la carne congelada. En la actualidad la congelación oscila entre  $-18^{\circ}\text{C}$  y  $-30^{\circ}\text{C}$  con técnicas modernas de congelación, permitiendo mantener la carne almacenada hasta por plazos de dos a tres años (Chacón, 2004).

La congelación de canales va seguida por un largo almacenamiento de la carne en depósitos de ambiente congelado, cuyo valor económico se justifica al hacer de la carne fresca un artículo alimenticio conservable durante mucho tiempo; garantizando la óptima conservación del valor de los alimentos en el curso de su natural envejecimiento biológico, asegurando alimentos de alta calidad, y con ello una nutrición saludable. En el almacenado, las canales de aves congeladas experimentan cambios químicos, físicos y microbiológicos; que son alteraciones por envejecimiento, putrefacción y por contaminación con hongos (Farchmin, 1967; Serrano *et al.*, 2005).

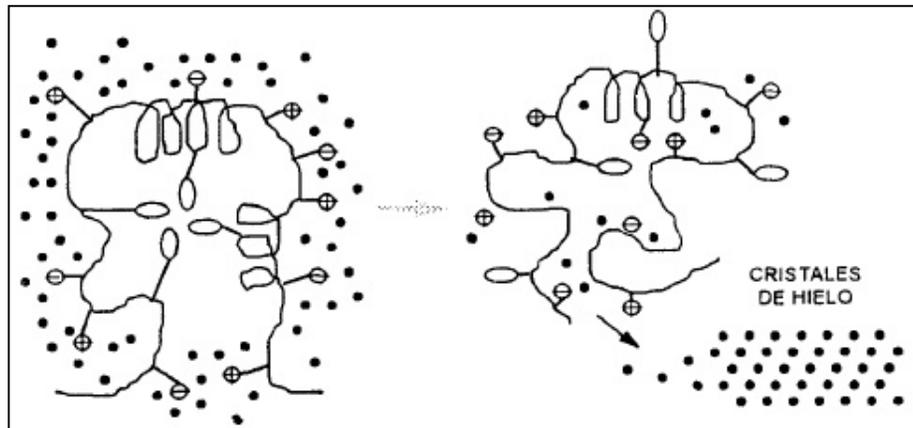
Por lo tanto en cualquier método usado para congelar, los productos crudos o acabados se deben empaquetar para excluir el aire y para proteger la superficie en contra de la sequedad excesiva (quemadura del congelador o congelamiento). Las aves deben mantenerse congeladas hasta poco antes de su consumo. El procedimiento general para su uso posterior consiste en descongelar al aire o en agua. Aunque no se ha encontrado ninguna diferencia significativa del sabor de la carne entre deshielar en horno, refrigerador, al aire o en agua. Para pavos que se escaldan a altas temperaturas y congelan rápidamente para dar un aspecto ligero; la temperatura de almacenaje y la de exhibición deben mantenerse lo más bajo posible ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) para evitar el obscurecimiento de la carne. El deshielar el ave en el paquete, reducirá al mínimo el obscurecimiento. El procedimiento más seguro para descongelar aves es mantenerlas en refrigeración ( $1$  a  $4^{\circ}\text{C}$ ) por un tiempo de 2 a 4 días, dependiendo del tamaño del ave (Umaña, 2007). La temperatura de conservación en congelación depende de la especie y del tiempo que durará el almacenamiento de la canal del animal (Borderías y Pérez-Mateos, 1996).

La calidad final de la carne congelada no depende solamente de la técnica de congelación así como del almacenado y duración de éste, sino también del método seguido en la descongelación. Una característica de la calidad de la carne descongelada, es entre otros aspectos, la cantidad de jugo perdido que hace que la carne pierda frescura (Escobar, 1973).

El principal problema en la congelación y descongelación de la carne, es la formación de agregados por la deshidratación y desnaturalización de las proteínas (Figura 1), como resultado del desplazamiento de agua, lo que provoca que éstas estén más cerca unas de otras, provocando entrecruzamientos y una rehidratación incompleta, debido a que la atracción molecular proteína-agua es igual o menor a la atracción proteína-proteína (Totosaus, 1996).

Cuando la descongelación de la canal es lenta, se consigue una reabsorción del agua celular, y en canales rápidamente descongeladas se produce una intensa salida de jugo de la carne, perdiendo con esto vitaminas, pigmentos y minerales, resultando una carne insustancial y de consistencia reseca (Libby, 1981).

Cuando la carne congelada se extrae del depósito de congelación, se empaña o escarcha debido a que la temperatura de su superficie se encuentra por debajo de la del aire de la sala de manipulación. Terminada la descongelación, la carne debe mantenerse en condiciones de refrigeración hasta el momento de su utilización o elaboración (Werner y Rainer, 1978).



**Figura 1 Diagrama de desnaturalización de proteínas globulares durante el almacenamiento en congelación de la carne**

**Fuente:Matsumoto, 1980**

Considerando como canal en términos generales al ave una vez desplumada, eviscerada y desprovista de la cabeza y las patas (Villamar y Guzmán, 2006), la canal de pavo da lugar a tres tipos de carne:

- 1) carne blanca, que proviene de los músculos inferiores y profundos de la región pectoral. Su color es blanco rosado.
- 2) carne roja, que proviene de los músculos rojos.
- 3) carne de alón; es de color rosado y se asimila a la blanca. Su proporción es: carne blanca 18%; carne de alón 12%; carne roja 34%.

El conjunto de canal y subproductos representan el 74% del peso en vivo del ave, y una vez deshuesada, el porcentaje final de carne es del 43%. La carne una vez que se ha deshuesado, da lugar a los siguientes porcentajes: carne blanca y similar a ella, 45.3%; y carne roja 54.7% (Rivadeneira, 1981).

## 1.2 PRODUCTOS CÁRNICOS REESTRUCTURADOS

El proceso de elaboración de los productos cárnicos reestructurados, implica operaciones de reducción de tamaño, mezcla y moldeado. Las porciones de carne a reestructurar se someten a una serie de operaciones preliminares destinadas a eliminar el exceso de depósitos grasos y defectos de dureza; eliminando hueso, aponeurosis y tendones.

Para un mayor aprovechamiento de porciones cárnicas con mayor dureza, se emplean métodos de ablandamiento que permiten una mayor liberación de proteínas funcionales, incrementando la estabilidad y capacidad de retención de agua de los productos obtenidos (Bejarano, 2001; Calderón, 2007).

La reducción de tamaño disminuye la dureza, subdivide la materia prima en porciones pequeñas, e incrementa el área superficial facilitando la disposición de proteínas miofibrilares. Los productos reestructurados que se ofrecen actualmente, se presentan como filetes o imitando el aspecto de ciertas porciones cárnicas, como piezas de carne para asar o cualquier tipo de producto original. De acuerdo con la forma de comercialización pueden establecerse tres familias o grupos de productos: crudos-ultracongelados, crudos-refrigerados y precocinados o cocinados. Existe una amplia variedad de productos reestructurados: filetes para sándwich, chuletas para barbacoa, filetes, muslos conformados o como bloques para asar (Cambero *et al.*, 1991; Jozami y Seselovsky, 2003).

Los productos cárnicos reestructurados tienen una alta demanda debido a su conveniencia y fácil utilización, buscando el desarrollo de nuevos productos que permitan nuevas alternativas para aprovechar los recortes de filetes, pero respondiendo en conjunto a la demanda de carne magra, con base en las propiedades que tiene los aditivos alimentarios con funcionalidad ligante, como los almidones y algunos polisacáridos (alginatos, carrageninas, etc.) y reestructurantes como la transglutaminasa (Lauber *et al.*, 2000; Lee y Park 2002).

Sin embargo, en la mayoría de los casos cuando el producto reestructurado es crudo, éste debe de ofrecerse en forma congelada por su inestabilidad lo que representa una desventaja económica, por el costo de congelación, así como de rechazo por parte del consumidor (Márquez *et al.*, 2006).

En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de productos cárnicos reestructurados.

**Tabla 1 Ejemplos de productos cárnicos reestructurados**

Producto	Método de Fraccionamiento	Forma de presentación
Pavo deshuesado	Corte grosero	Crudo, congelado
Jamón de pavo	Troceado	Precocinado, congelado
Pechuga de pavo	Troceado	Precocinado, congelado
Carne para asar	Troceado	Crudo, congelado
Chuleta de vacuno	Hojuelas	Precocinado, congelado
Cubos de pollo	Troceado	Precocinado, liofilizado
Cubos de pavo	Hojuelas	Precocinado, congelado
Jamón	Troceado	Precocinado, refrigerado
Jamón de pavo	Troceado	Precocinado, congelado
Chuleta de ternera	Hojuelas	Crudo, congelado
Jamón curado	Corte grosero	Enlatado
Palitos de vacuno	Corte grosero	Crudo, congelado
Porciones de pollo	Troceado	Crudo, congelado

**Fuente: Bejarano, 2001**

### 1.3 DEFINICIÓN

Carne reestructurada es el producto elaborado a partir de porciones cárnicas magras y grasas, troceadas en porciones gruesas e incluso trituradas y reducidas a pastas finas; comercializados como productos crudos, refrigerados, congelados, precocinados o cocinados (Bejarano, 2001; Mandingo, 1988).

Los productos reestructurados se consideran intermedios entre la carne picada y una pieza de carne, partiendo de partículas cárnicas de diversos tamaños para conseguir un producto con un aspecto similar al de un filete o al de una determinada porción cárnica; permitiendo ofrecer productos cárnicos de composición garantizada (Cambero *et al.*, 1991).

Los productos reestructurados pueden moldearse en porciones regulares e individuales, que requieren una preparación sencilla y rápida; ajustándose a las actuales demandas de la población (Cambero *et al.*, 1991; Mandingo, 1988; Sánchez *et al.*, 2007).

## 1.4 PRODUCCIÓN DE REESTRUCTURADO

La mayoría de los métodos para reestructurar carne están basados en la extracción de proteínas usando sal, fosfatos y manipulación mecánica. Posteriormente se aplica calor para formar una matriz de proteínas gelificadas. Pero estos productos deben ser comercializados precocidos o congelados porque las partículas de carne no se mantienen unidas cuando están crudas (Ruiz *et al.*, 1993).

Aunque la carne puede procesarse como carne caliente, refrigerada o congelada. La carne congelada es la más empleada, con el fin de limitar el incremento de temperatura que experimenta cuando se prolonga el tiempo de picado, lo que permite impartir determinadas características deseadas en los productos. La oxidación de lípidos, decoloración y baja aceptación de los consumidores son los principales problemas de los productos congelados (Márquez *et al.*, 2006).

La carne que se reestructura procede de todas las especies de abasto, especialmente de pollo y pavo. Por economía se ha incorporado la adición de determinadas vísceras (corazón, lengua, hígado, bazo, riñón, etc.) Un producto reestructurado presenta un contenido graso de un 10 a un 15%, pudiendo superar el 20% sin que se modifiquen las características sensoriales. Sin embargo se elaboran productos hipocalóricos con contenido lipídico inferior a un 3.5%. En la formulación de un reestructurado intervienen, ingredientes no cárnicos para mejorar condiciones de fabricación o características sensoriales del producto. El cloruro sódico, los fosfatos y polifosfatos aumentan la fuerza iónica del medio y la solubilidad de las proteínas miofibrilares (Bejarano, 2001).

Para mejorar la cohesión y la textura se recurre a ligantes y gelificantes como alginatos, carragenatos, caseinatos, almidones modificados, harina de avena, harina de soya y diversas proteínas de origen animal, no cárnicas y vegetales. El reestructurado adquiere firmeza debido a diversos factores, pero el principalmente a la gelificación de las proteínas miofibrilares; permitiendo la estabilidad de las interacciones de las moléculas proteicas y con los componentes del producto (Sams, 2001).

## 1.5 CARNE DE PAVO

El pavo es un ave doméstica que se sitúa en la escala zoológica dentro del orden *Galliformes*, familia *Meleagridae*, género *Meleagris*, especie gallopavo. Son originarios de América del Norte, cuya área de dispersión geográfica se extendía entre Canadá y México, alimentándose de bayas, insectos, larvas y semillas en las selvas vírgenes, próximas a las praderas. Presentando la cabeza con una piel desnuda, roja pálida, con variaciones azuladas, recubierta de verrugas y carúnculas de color rojo más o menos intenso. Sobre la frente aparece el apéndice carnosos eréctil, de longitud variable, según el estado de excitación, particularmente desarrollado en el macho (Barioglio, 2004; Losada *et al.*, 2006).

Las plumas periféricas de los pavos presentan el borde apical cortado. La cola está compuesta por largas plumas que pueden abrirse en forma de abanico. Existen 7 razas de pavos silvestres: *Meleagrisgallopavogallopavo* (México); *Meleagrisgallopavomerriami* (Oeste de EE.UU); *Meleagris gallopavo intermedia* (Texas, Oklahoma y California); *Meleagrisgallopavoosceole* (Florida, Louisiana y California del sur); *Meleagrisgallopavosilvestris* (Florida a Ontario y Texas a Dakota); *Meleagrisgallopavoonusta*; *Meleagrisgallopavo Mexicano* (Noreste de México y Baja California). Los pavos domésticos descienden de la primera raza originaria de México, de donde se llevaron a España, pasando luego a casi toda Europa. Siendo las principales razas domésticas: Blanco de Holanda; Narragansett; Raza Negra; Ardesia; Rojo de Borbón; Blanca de Beltsville y Bronceada Gigante (Barioglio, 2004).

La carne de pavo, si corresponde a animales jóvenes, es tierna y fina. Aunque alcanzan enormes pesos, no tienden al engrasamiento; razón de preferencia de la carne. Los pavos pueden pesar hasta 15-20 kg, con siete clases distintas de carne, mostrando diferencias de color y consistencia según la región corporal. Las extremidades tienen una carne relativamente ordinaria y oscura, mientras que la carne de la pechuga es más tierna y de color pálido (Farchmin, 1967).

### 1.5.1 PRODUCCIÓN Y CONSUMO

En la actualidad, la producción industrial de pavos no habla de variedades, si no de híbridos comerciales, que son el producto de dos o más líneas diferentes, dando resultado

a lo que se conoce como vigor híbrido. Todos conocidos como pavos de doble pechuga (Ezequiel *et al.*, 1983; Newmann, 2001). La producción de estos pavos, además de los controles zoonosanitarios en el proceso productivo para el abastecimiento del mercado nacional, procesan las aves en plantas TIF, que cuentan con altos niveles de equipamiento y tecnificación, con estrictos procesos de higiene y calidad, que van desde la recepción de las aves, hasta el empaquetado y conservación de las canales y piezas obtenidas.

Debido a que la producción de pavos se destina para consumo en temporada de fin de año, las parvadas se programan para ser sacrificadas a partir del mes de marzo en menor escala, registrándose los mayores volúmenes de matanza entre julio y septiembre. También existen rastros particulares, que no cuentan con la acreditación TIF, pero que operan bajo estrictas medidas higiénicas y con tecnología de punta, ubicándose en los estados de Guerrero, México, Puebla, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

El consumo de pavo a nivel mundial, solo se centraba en fiestas específicas, pero la búsqueda de una alimentación baja en grasas, impulsó un aumento en su consumo generalizado, principalmente para elaborar carnes frías y embutidos.

El consumo de esta carne se divide en dos grupos: el consumo directo (pechugas, cortes de pechuga, muslos ahumados y piernas ahumadas) y el de carnes industrializadas (carnes frías, embutidos y enlatados).

Principalmente es consumido en temporada navideña y fin de año pavo natural y ahumado, también existe el consumo a través de guisos tradicionales (mole); pero las carnes industrializadas son la que presentan un consumo consecutivo y mayormente abastecido a través de productos de importación, ya sea a través de piezas o pastas de carne de estas aves. El Consumo Nacional Aparente (CNA) de pavo en México incrementó a partir de los años 90, a raíz de la apertura comercial de México, ingresando producto importado solamente cumpliendo requisitos zoonosanitarios y pago de aranceles (Villamar y Guzmán, 2006).

Según FAOSTAT, la producción de carne de pavo entre 2000 y 2009 creció 0.4 por ciento, de 5.1 a 5.3 millones de Ton. El total de producción mundial para 2009 fue de 5.5

millones de Ton mientras que las previsiones para 2011 y 2012 fueron de 5.7 millones de Ton. El número de pavos sacrificados en todo el mundo en 2009 fue más de 656 millones, lo que representó una reducción de 34 millones (5 %) sobre 2008 de casi 691 millones. Del total del 2009, 380.6 millones (58 %) fueron sacrificados en América y 212 millones (32 %) en Europa. En el año 2000, el peso promedio global de la canal de pavo era alrededor de 7.6 kg. En Italia era de 9.7 kg, lo cual contrastaba con los 9 kg en los Estados Unidos y los 6.4 kg en Francia. Para el 2009, la media aumentó a 8.1 kg. En Italia aumentó a 10.4 kg, en Estados Unidos a 10.5 kg, en Francia fue de 6.8 kg y en Alemania 8.7 kg. El número de pavos sacrificados en el mundo disminuyó de 667 millones del año 2000 a 656 millones en el 2009; debido al incremento en el peso, el rendimiento real de carne de pavo subió de 5.1 a 5.3 millones de Ton. Aunque América y Europa combinadas contabilizaron el 94 % de la producción mundial en el año 2000 y 2009, América aumentó su participación en el mercado del 56 al 63 %, mientras que Europa redujo su participación de 39 a 32 %.

En la Tabla 2, se muestra a los 10 mayores productores de carne de pavo que representan el 90 % de la producción mundial. Los cambios en el orden del año 2000 al año 2009 destaca que Europa (Francia, Italia, Reino Unido, Hungría) ha disminuido su producción, a excepción de Alemania que empujó a este país a la segunda posición, a pesar de que para 2011 y 2012 Brasil, con una producción prevista de 500,000 Ton anuales, sacó a Alemania del segundo lugar con un margen de diferencia muy corto.

**Tabla 2 Primeros 10 países productores de pavo en el mundo año 2000 y año 2009 (Ton)**

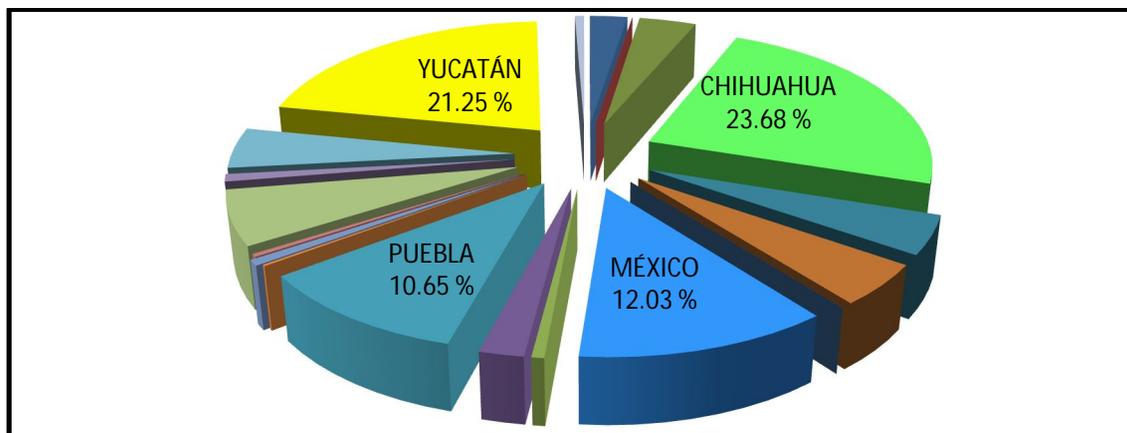
PAÍS	AÑO 2000	AÑO 2009
<b>EUA</b>	2,419,000	2,569,000
<b>FRANCIA</b>	738,000	397,000
<b>ITALIA</b>	327,000	305,000
<b>ALEMANIA</b>	296,000	438,000
<b>REINO UNIDO</b>	255,000	157,000
<b>CANADÁ</b>	153,000	167,000
<b>ISRAEL</b>	138,000	92,000
<b>BRASIL</b>	137,000	426,000
<b>HUNGRÍA</b>	98,000	94,000
<b>CHILE</b>	62,000	100,000
<b>TOTAL</b>	<b>4,623,000</b>	<b>4,745,000</b>

Fuente: FAOSTAT/ FAO

El mercado mundial está controlado principalmente por tres distribidoras principales que son: Nicholas Turkeys, British UnitedTurkeys e HibridTurkeys (Ezequiel *et al.*, 1983; Newmann, 2001).

Estados Unidos es el mayor exportador de carne de pavo del mundo, con volúmenes de producto fresco/congelado entre 180,000 y 280,000 Ton entre los años 2000 y 2009. En 2010, fue de 265,000 Ton, de las cuales 146,000 Ton fueron a México y 63,000 Ton se enviaron a China, Hong Kong, Canadá y la República Dominicana. Estos cinco mercados contabilizaron el 80 % del total. Para 2011 las exportaciones de EUA fueron 295,000 Ton, aunque para 2012 hubo un recorte a 281,000 Ton. México ocupa el lugar número 20 como productor de carne a nivel mundial. A nivel nacional, el Estado de México como productor de carne de pavo ocupa el tercer lugar.

En la Figura 2, se muestran los estados con el porcentaje de participación en la producción de carne de pavo para el país, las estadísticas señalan que en el año 2012, Chihuahua desplazó a Yucatán de la primera posición, este desplazamiento por parte de Chihuahua inició desde el segundo semestre del año 2008, ya que la producción de carne de pavo en el país enfrentó un mercado altamente estacional, condicionando que la producción se ajustara a la estacionalidad, además de la competitividad con productos importados.

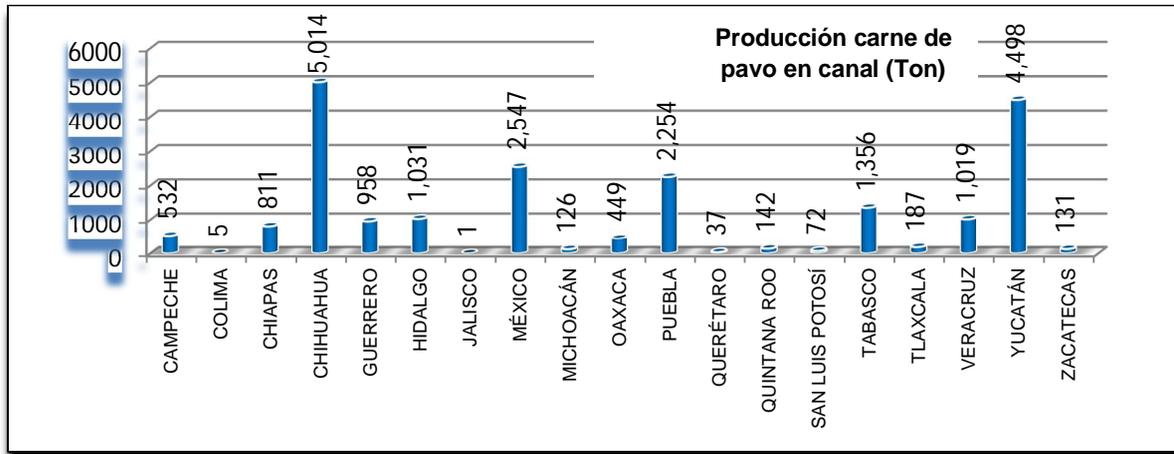


**Figura 2 Producción nacional 2012 de carne de pavo en canal**

**Producción total de carne de pavo en México, 21171 Ton, de las cuales 67.61 % es producido por 4 estados: Chihuahua 23.68 %; Yucatán 21.25 %; México 12.03 %; Puebla 10.65 % y 32.39 % los Estados restantes**

**Fuente: S I A P con información de las delegaciones de la S A G A R P A**

En la Figura 3, se muestra la producción nacional de carne de pavo en canal en el año 2012; mostrando la producción correspondiente a cada estado.



**Figura 3 Producción nacional de carne de pavo en canal año 2012**

**Fuente: S I A P con información de las delegaciones de la S A G A R P A**

Las importaciones de carne de pavo hechas por México fueron de 200,000 Ton en el 2008, pero luego cayeron a 143,000 Ton, así como la cantidad comprada de Estados Unidos cayó de 154,000 Ton a 111,000 Ton. Pero, desde entonces las importaciones totales de México incrementaron nuevamente a 160,000 Ton con un pronóstico para 2012 de 164,000 Ton. El consumo de carne de pavo a nivel mundial se estima en promedio alrededor de 0.8 kg por persona al año. Aunque los mayores consumidores del mundo de carne de pavo son los israelíes, cuyo consumo promedio es de 10 kg por persona al año. EUA consumió un promedio de 7.5 kg por persona al año en 2010, y una reducción a 7.4 kg en 2011 y 2012. El consumo en Canadá es de 5 kg por persona al año, mientras que para la Unión Europea es de 4 kg por persona al año. El consumo en México y Brasil oscila entre 1 y 2 kg por persona al año, y en el resto de los países el promedio es de 1 kg o menos como en Rusia y China, donde el nivel de consumo es bajo (FAOSTAT/ FAO).

### 1.5.1.1 PRODUCCIÓN CONGELADO

La congelación de los tejidos en la carne se inicia por la cristalización del agua en los espacios extracelulares puesto que la concentración de solutos es menor que en los espacios intracelulares. La carne de ave puede refrigerarse o congelarse, el almacenamiento en frío se realiza a temperaturas en el rango de 0 a 7.2°C y en congelación usualmente en el rango de -17.7 a -40°C. El hielo triturado, la refrigeración

mecánica o una mezcla de ambos se usan como Fuente para el almacenamiento en frío; los gases licuados y la refrigeración mecánica para el almacenamiento en congelación. Las aves se congelan con aire, líquido o placas refrigeradas. También pueden ser congeladas lenta o rápidamente. La congelación profunda consiste en enfriar hasta a  $-23.3^{\circ}\text{C}$  sin agitación mecánica del aire, siendo a temperaturas entre  $-15$  y  $-28.8^{\circ}\text{C}$ . En estas condiciones congela en cuestión de 3 a 72 h, formando cristales de hielo de mayor tamaño que en la congelación rápida. (Mountney y Parkhurst, 2001).

En la congelación lenta, antes de la congelación las canales se deben de refrigerar lentamente, pero si estas canales se descongelan rápidamente después de almacenarse en ambiente congelado, se obtiene una carne fibrosa, de sabor insustancial y calidad muy inferior a la de la carne fresca (Libby, 1981). Ya que los cristales formados en los haces musculares o en los espacios intercelulares son de mayor dimensión y el jugo celular no puede volver a difundirse al interior de las células a través de las paredes de éstas, ocurriendo la pérdida del jugo con todos sus componentes en forma de goteo (Farchmin, 1967).

En la congelación rápida, al aumentar la velocidad de congelación, se producen pequeños cristales de hielo en el interior de las fibras del tejido muscular de la carne, figurando una velocidad de congelación tal que la carne alcance la total congelación en 90 min o menos, y de máxima formación de cristales en 30 min o menos; cuando se efectúa una descongelación lenta, la mayor parte del jugo de la carne permanece en las células musculares, por lo tanto la carne es de mejor calidad que la carne lentamente congelada, por conservar las características de la carne fresca. La congelación de canales recién sacrificadas conserva mayor tiempo que las canales congeladas después de refrigerar (Werner y Rainer, 1978).

Aunque el proceso de congelación termina cuando la mayor parte del agua congelable se transforma en hielo en el centro térmico del producto, en la mayoría de casos la temperatura del centro térmico coincide en ese momento con la temperatura de almacenamiento. Si el producto se retira antes de ese momento resultará una congelación lenta en el centro del mismo y pérdida de la calidad del producto congelado. Si se presenta el fenómeno denominado rigor de congelación, por no haber complementado el rigor mortis, antes de iniciar el proceso de congelación, afectará la dureza y calidad final

de la carne; ya que se produce degradación de ATP al descongelar, debido a la acción de la miosin-ATPasa activada por el calcio, disminuyendo la capacidad de retención del agua y contracción muscular, aumentando de cuatro a cinco veces la dureza de la carne (Chacón, 2004).

El principal efecto de la congelación sobre la calidad de los alimentos es el daño que ocasiona en las células el crecimiento de los cristales de hielo. Las características tales como tamaño, forma, técnica de congelación e índice de congelamiento, repercuten en la calidad, el aspecto y el costo de producción, pero no provoca deterioro desde el punto de vista nutritivo.

El congelamiento rápido ofrece las ventajas siguientes:

- Enfría el producto rápidamente.
- Previene desperdicios por daños bacterianos.
- Facilita el manejo rápido de cantidades grandes de producto.
- Promueve el uso máximo del espacio a ocupar en el congelador.
- Produce un producto empaquetado de aspecto uniforme.

Así entre más rápido se produzca el congelamiento, mejor calidad en el producto congelado se obtiene (Umaña, 2007).

### **1.5.1.2 MERCADO**

La industria de la carne de pavo se orienta a la preparación de productos que van desde la congelación de pavos hasta la presentación del ave entera fresca, así como el envasado de productos en bandeja o la producción de productos de pavo cocidos. El mercado comercializa hembras con 14 a 15 semanas de edad y machos con 18 a 22 semanas de edad (Mountney y Parkhurst, 2001).

En los Estados Unidos dominan los pavos congelados, pero existe cada vez más la venta en porciones: muslos, pechuga, menudo de pavo, rollos de carne cocida o congelada, porciones integradas por restos de carne, ahumadas, etc., siendo el 25% de la producción la que corresponde al despiece antes de llegar al consumidor. En Inglaterra la mayor parte de pavos se venden enteros, frescos o congelados, para Navidad y para Pascua; principalmente pavos con un peso de 2.5 a 4 kg, teniendo preferencia los de 4 a 6 kg en

Navidad. La producción holandesa, exporta la mayor parte de pavos a Alemania con pesos de 1.5 a 3.5 kg. En Francia se producen pavos pequeños preferentemente, aunque existe la tendencia a la obtención de rollos de carne para asar, pechuga ahumada y especialidades. El mercado Italiano prefiere pavos grandes para despiece, obtención de porciones y de embutidos. En Israel se transforma el 95% de todos los pavos producidos. Aunque se consume casi siempre fresca, también se elaboran embutidos, carne ahumada y productos similares. Los mayores pesos al sacrificio reflejan cambios en el mercado, ya que los consumidores no solo compran aves enteras para celebrar ocasiones especiales, sino que en otras épocas del año consumen porciones de pavo y productos preparados (Kessel y Kartzfehn, 1971).

### 1.5.2 VALOR NUTRIMENTAL Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de la carne de aves depende al igual que las otras carnes de la dieta, edad, sexo y grado de desarrollo de los animales, esto se verifica en los contenidos de sus nutrientes (Ramírez, 2006).

La carne de pavo por su alto contenido proteico y bajo nivel de colesterol y grasa, es una de las fuentes de proteína más completa y de mejor calidad dentro de los alimentos de origen animal, además su bajo contenido en colágeno facilita su digestibilidad; razones por las cuales existe preferencia de esta carne por parte de los consumidores, incluso a nivel mundial (Villamar y Guzmán, 2006).

La Tabla 3, muestra los datos de la composición de la grasa en la carne de pavo, comparada con la de pollo, pato y ganso, para demostrar que la carne de pavo es una carne con mínimo contenido de grasas.

**Tabla 3 Composición de la grasa en la carne de ave**

	Pavo	Pollo	Pato	Ganso
Total de Grasa (%)	<b>8.02</b>	15.06	39.34	33.62
<b>DE LAS CUALES</b>				
Grasa saturada (%)	<b>29.5</b>	29.3	33.3	27.8
Grasa monoinsaturada (%)	<b>42.9</b>	44.7	49.4	56.8
Grasa poliinsaturada (%)	<b>23.2</b>	21	13	11
Colesterol (mg)	<b>68</b>	75	76	80

**Fuente: Ramírez, 2006**

El precio de un gramo de proteína de pavo es tres veces menor que el de la de carne de vacuno y cuatro veces menos que el de las carnes de ternera y cordero, se toma como referencia el precio de la proteína porque en materia de carnes, es más lógico remitirse a su valor proteínico que a su valor energético (Rivadeneira, 1981).

La carne y los productos cárnicos constituyen una excelente fuente de proteínas de alto valor biológico y de aminoácidos esenciales como la lisina, leucina, isoleucina, fenilalanina, valina, metionina, treonina, triptófano además de grasas y ácidos grasos esenciales, rica en vitaminas del complejo B (B1, B3, B5, B6, B12 y biotina) y minerales (fosforo, sodio, magnesio, cloro, hierro, zinc; en menor proporción cobalto cobre y selenio) (Bejarano, 2001; Cornejo y Fernández, 2009 ).

La Tabla 4, muestra la cantidad de vitaminas y minerales que proporciona el muslo de pavo y la pechuga de pavo.

**Tabla 4 Vitaminas y Minerales en carne de pavo**

	Niacina (mg)	Potasio (mg)	Magnesio (mg)	Hierro (mg)	Energía (kcal)	Proteína (g)	Grasas (g)	Grasas Saturadas (mg)	Grasas Monoinsaturadas (mg)	Grasas Poliinsaturadas (mg)	Colesterol (mg)
<b>Muslo de pavo</b>	4.70	289	17	2	114.9	20.50	3.61	1.31	0.73	0.90	75
<b>Pechuga de pavo</b>	11.33	333	20	1	96.11	21.80	0.99	0.34	0.21	0.18	60

Fuente: Cornejo y Fernández, 2009; [www.consumer.es](http://www.consumer.es), 2007

### 1.5.3 PRODUCTOS CÁRNICOS DE PAVO

Los distintos productos que se obtienen a partir de la canal, depende del tipo de carne (carne blanca, carne roja y trozos); la masa muscular pectoral o pechuga o conjunto blanco, se puede dividir en filete o porción para asar. Del filete se pueden obtener los escalopes (carne empanizada), a su vez el escalope se puede utilizar para la obtención

de paupiettes (filetes rellenos). Esto al considerar solamente cortes originales refrigerados (Rivadeneira, 1981; Villamar y Guzmán, 2006).

De carne roja y trozos se obtiene jamón, salchichas, hamburguesas, salami, etc.

En cuanto a las presentaciones, pueden ser refrigerada, sin elaborar, congelada, precocida, cocida, ahumada, etc. (Cornejo y Fernández, 2009).

Debido a que la congelación mantiene los alimentos seguros casi indefinidamente, las industrias prefieren utilizar con frecuencia pavo y cortes de aves de corral congelado para elaborar los productos reestructurados, por su fácil manejo y disponibilidad (Márquez *et al.*, 2006; Téllez *et al.*, 2004; Rangel, 2002).

De los productos de pavo que se ofrecen al público en general, se encuentran: carne molida fresca y congelada, chorizo, hamburguesas, milanesa, carne ahumada, carne al pastor, carne de pechuga fresca y congelada, carne estilo arrachera, pavo fresco natural y ahumado, ([www.bachoco.com.mx](http://www.bachoco.com.mx)); carne de pechuga estilo tampiqueña, filetes, jamón, mortadela, salchicha, carne de pechuga a las frutas, alas y pierna natural ([www.argal.com](http://www.argal.com), [www.comepavo.com.mx](http://www.comepavo.com.mx)).

#### **1.5.4 CONSERVACIÓN DE LA CARNE DE PAVO**

Tras el sacrificio, las aves se refrigeran hasta que el interior de la canal alcanza temperatura de 2 a 3°C, con la finalidad de retardar su maduración, reducir las influencias bacterianas externas y prolongar la capacidad de conservación, que debe mantenerse constante hasta que el producto llegue al consumidor (Escobar, 1973).

Las canales de aves se alteran rápidamente cuando se almacenan largo tiempo a temperatura variable. Para la conservación durante largo tiempo, hay que contar con alteraciones considerables, ya que la carne experimenta transformación al desdoblarse las proteínas y las grasas formándose ácidos grasos libres. Las aves destinadas al almacenamiento deben de ser siempre de la mejor calidad, las envolturas deben estar limpias y en impecable estado higiénico. Los primeros signos indicadores de que una canal ya no puede seguir almacenada son manchas blancas y pálidas que aparecen sobre la piel, en casos leves desaparecen al descongelar. En largos almacenamientos se

producen quemaduras por frío, en forma de manchas pajizas o blancoamarillentas sobre la piel después de descongelar las canales. Estas aves con quemaduras por frío no pueden sacarse al mercado y se destinan a la transformación industrial (Farchmin, 1967).

La vida útil de la carne se prolonga, cuando se estabiliza empleando agentes y procedimientos físicos y químicos, poniendo medidas que dificulten las condiciones de vida de las especies microbianas en lo que se refiere a medios nutricios, temperatura óptima, Aw mínima y la ausencia o presencia de oxígeno atmosférico, según existan gérmenes aerobios o anaerobios.

El empleo del frío en la conservación de la carne, elimina el calor natural de la carne frenando el proceso de descomposición que al inhibir el desarrollo de gérmenes permite que la maduración se realice sin interferencias. La carne refrigerada sólo puede conservarse durante un tiempo limitado, por lo tanto se procede a la congelación para obtener productos de la misma calidad que la carne fresca; incluso los productos elaborados con carne adecuadamente congelada-descongelada, son de calidad superior a la de los elaborados con carne fresca, por lo que la técnica de la congelación es de importancia decisiva para la calidad de los productos congelados. (Escobar, 1973, Farchmin, 1967).

En la conservación de la carne con ayuda del calor, la carne produce en su estructura química un cambio consecuente con la desnaturalización de la proteína. Las modificaciones dependen de la forma de aplicar calor, debido a que origina la coagulación de las proteínas de la superficie de acuerdo con la forma en que se aplique el calor. Existen otras formas de conservación como son la desecación, por medios químicos y envasados. Al contrario de lo que sucede con carne de animales de carnicería, la carne de ave posee una capacidad de conservación mayor. La piel, que rodea el cuerpo del ave, constituye una protección contra la penetración de bacterias. Para una buena conservación los animales tienen que estar sanos y en buen estado de nutrición, el sacrificio y el faenado con limpieza y las canales deben seguir una cadena frigorífica ininterrumpida. Esto para evitar la pronta putrefacción de las aves, que en la mayor parte de los casos se inicia en la cavidad abdominal. (Farchmin, 1967).

## 1.6 TRANSGLUTAMINASA

Las transglutaminasas son una familia de proteínas, las cuales tienen el nombre sistemático de proteína-glutamina  $\gamma$ -glutamyltransferasa, identificadas por primera vez por Waelsch en 1959 como enzimas del hígado capaces de incorporar aminas dentro de las proteínas. Distinguiendo distintos tipos de transglutaminasa (TGasa) según la fuente de obtención y describió distintos métodos de extracción, purificación y forma para determinar su actividad. La masa molecular de las diferentes isoformas determinadas por electroforesis y la fuente de obtención se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5. Masa molecular de las diferentes isoformas de transglutaminasa**

Enzima	Masa Molecular (kDa)	Fuente de obtención
TGasa SECRETORIA	65-70	Próstata (cobaya, rata)
TGasa TISULAR	80-85	Hígado (cobaya, rata)
TGasa HEMOCÍTICA	86	Eritrocitos (hombre)
TGasa QUERATINOCÍTICA	92	Hígado (rata)
FACTOR XIII a	80	Plaquetas, placenta,
TGasa EPIDÉRMICA (enzima activa)	50	plasma (hombre) Piel (cobaya, hombre)

**Fuente: Wilhelm et al., 1996; Moreno, 2010**

La TGasa obtenida de hígado de cobaya fue la única fuente comercial durante varios años. A principios de los años 80, se llevaron a cabo los primeros experimentos en alimentos y se observó la posibilidad de modificar el comportamiento de las proteínas de la leche y de la soja, utilizando TGasa extraída de hígado de cobaya y de plasma bovino. Posteriormente se intentó obtener la enzima mediante la manipulación genética usando microorganismos huéspedes como *Escherichia*, *Bacillus*, *Aspergillus* o *Saccharomyces*. Pero ninguna de esas transglutaminasas se comercializó debido a la baja aceptación y al poco rendimiento obtenido (Moreno, 2010; Trespalacios, 2007).

Las transglutaminasas están presentes en la mayoría de los tejidos y fluidos extracelulares de los vertebrados e involucradas en numerosos procesos biológicos. Se encuentran muy extendidas en la naturaleza (tejidos de animales, plantas y microorganismos), interviniendo en procesos fisiológicos (coagulación sanguínea, cicatrización de heridas, endurecimiento de ciertas membranas, regulación del crecimiento celular, queratinización de la epidermis, etc.).

Para la obtención de transglutaminasa (TGasa), se ha recurrido a diversos tejidos animales, siendo el plasma sanguíneo ovino y bovino el más utilizado. Pero la TGasa de estas Fuentes: presenta algunos inconvenientes para aplicación en alimentos, por requerir de la presencia de trombina y de calcio para su activación (Schleehauf, 2001).

También se obtiene a partir de ciertos microorganismos: *Streptomyces sp*, *Streptoverticillium sp*, *E. coli*, *Bacillus*, levaduras y *Aspergillus*; aunque *Streptoverticillium mobaraense* libera al medio una enzima similar a la TGasa que se denomina transglutaminasa de origen microbiano o TGm, presentando mejores perspectivas para su aplicación en los alimentos, ya que no requiere de calcio para su actividad (Nonaka *et al.*, 1989).

Esta característica es importante debido a que las proteínas presentes en los alimentos (caseínas, globulinas de soja, miosina, etc.) son susceptibles a la presencia de  $Ca^{2+}$ , facilitando su precipitación, mientras que cationes como  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Ba^{2+}$  no afectan a su actividad enzimática (Moreno, 2010; Schleehauf, 2001).

En las especies que se ha encontrado capacidad para producir transglutaminasa de origen microbiano están: *Streptoverticillium S-8112*, *Streptoverticillium Griseocarneum*, *Streptoverticillium Cinnamoneum* y *Streptoverticillium Mobaraense* (Zhuet *al.*, 1996; Hie-joon y Hyo, 1999).

La TGm, posee una estructura cristalina con una hendidura en uno de los lados de la molécula donde se encuentra el residuo catalítico de Cisteína ( $Cys^{64}$ ), comprende 331 residuos aminoacídicos; su masa molecular calculada a partir de su composición de aminoácidos es de 37,863 kDa (Bejarano, 2001), su punto isoeléctrico está en 8-9, siendo funcional a valores de pH entre 5 y 9 y en un intervalo de temperatura entre 4 y 75 °C, siendo 55 °C su temperatura óptima, inactivándose cuando se calienta a 80 °C por un tiempo de 15 min (Hie-joon y Hyo, 1999; Márquez *et al.*, 2006; Moreno, 2010; Payne, 2000; Soto *et al.*, 2010; Wilhelm *et al.*, 1996; Zhuet *al.*, 1996).

### 1.6.1 FUNCIÓN DE LA TRANSGLUTAMINASA

La TGm cataliza la formación de enlaces  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutaminil) lisina en la mayoría de las proteínas que contengan glutamina y lisina, como son: caseínas, globulinas de soya, gluten, proteínas de huevo, miosina y fibrina, entre otras, pero la cantidad de enlaces cruzados formados depende de la estructura macromolecular de cada sustrato. Los enlaces formados mejoran las propiedades funcionales de las proteínas como son: la capacidad emulsionante, unión en frío, solubilidad, gelificación de alta estabilidad sin cocción, texturizante y espesante.

Al no tener características sensoriales apreciables, no repercute en el sabor, color u olor de los alimentos pero sí modifica favorablemente las propiedades (textura cohesión y reestructuración) de los productos.

Aunque la TGm favorece la unión entre las porciones cárnicas para obtener resultados adecuados, en ocasiones es necesario incorporar al sistema, coadyuvantes de tipo proteína de soya, gelatina, proteína de trigo o caseinatos; debido a que confieren una capacidad adherente. De esta forma, las superficies permanecen en contacto favoreciendo la actividad enzimática (Soto *et al.*, 2010; Ruíz y Regenstein, 2002).

Por otra parte, la TGm es capaz de incorporar aminoácidos o péptidos a sustratos de proteínas, lo cual aumenta el valor nutricional de los alimentos porque los aminoácidos o dipéptidos incorporados se comportan como aminoácidos endógenos (Jozami y Seselovsky, 2003).

Tanto su estructura como sus propiedades, confieren características adecuadas para el empleo en los alimentos. Estas características son: trabajar en un amplio rango de pH, temperatura de actividad baja y media, elevada velocidad de reacción, baja masa molecular, totalmente independiente de  $\text{Ca}^{2+}$ , baja especificidad de sustrato y baja actividad de desamidación (De Jong y Koppelman; 2002).

En la Tabla 6, se muestran algunas de las aplicaciones de la TGm en los alimentos.

**Tabla 6 Aplicación de transglutaminasa microbiana en alimentos**

Procedencia	Producto	Función TGm
Carne	Hamburguesa Albóndigas	Mejora elasticidad, textura, sabor y aroma
	Carne enlatada	Mejora la textura y aparición
	Carne congelada	Mejora textura
	Carne moldeada	Reestructuración de la carne
Pescado	Pasta de carne	Mejora la textura y aparición
Trigo	Alimentos horneados	Mejora la textura y aumenta el volumen
Soya	Productos fritos	Mejora la textura y aumenta el tiempo de vida útil
Frutas y vegetales	Apio	Conservación de alimentos
Caseínas	Promotor de absorción de minerales	Mejora la absorción de minerales en el intestino
	Entrecruzamiento de proteínas	Reduce la alergenicidad
Gelatinas	Alimentos dulces	Alimentos bajos en calorías con buena textura, firmeza y elasticidad
Grasa, aceite y proteínas	Grasas sólidas	Forma un sustituto de grasa de cerdo de textura y sabor agradable
Proteínas de plantas	Proteínas en polvo	Formación de gel, con buena textura y sabor
Condimentos	Condimentos	Mejora e incrementa el sabor

**Fuente: Zhuet *al.*, 1995**

La TGm además de la capacidad de unión, también tiene capacidad gelificante, resistencia física; permitiendo que entre las proteínas sobre las que está actuando la enzima, exista un incremento en la capacidad de retención de humedad; dando como resultado mayor estabilidad a las emulsiones, confiriéndole elasticidad y viscosidad proporcionales a los enlaces formados en la estructura, obteniendo en el alimento termoestabilidad y capacidad de aumentar el valor nutricional de las proteínas por permitir introducir aminoácidos en proteínas que no tienen una composición ideal, entre otras (Bourneowet *al.*, 2012).

En la actualidad, la TGm es empleada para mejorar las propiedades físicas de alimentos ricos en proteínas, como la carne, lácteos, soya e incluso productos de panadería (Moreno, 2010).

La habilidad que tiene la TGm de unir las proteínas miofibrilares de las carnes, es importante en la elaboración de productos cárnicos reestructurados, ya que les da estabilidad, sin necesidad de agregar altas cantidades de sales de cloruro de sodio, fosfatos e incluso se puede emplear bajas cantidades de cloruro de sodio, sin afectar su estabilidad y funcionalidad (Márquez *et al.*, 2006; Kingsley *et al.*, 2008).

Entre las aplicaciones más características de la TGm tanto en la industria alimentaria como fuera de ella caben destacar: Carne y productos cárnicos (cerdo, bovino, pollo, cordero, pavo, jamones, salchichas, reestructurados en frío) (Bejarano, 2001), pescado y productos de la pesca, productos lácteos, películas comestibles, conservación de frutas, vegetales y encurtidos (Moreno, 2010).

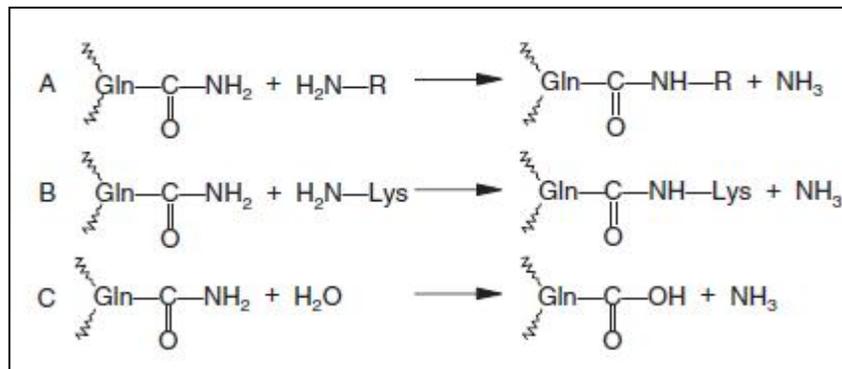
La TGm tiene aplicaciones en otros campos como en la industria textil (incrementa la fuerza de la fibra y reduce el encogimiento de la lana); en la industria peletera (se obtienen pieles más resistentes); industria farmacéutica (desarrollo de un material que promueve la absorción de minerales para la formulación de suplementos alimenticios) y en la producción de películas fotográficas (Trespacios, 2007).

Por lo tanto, la adición de transglutaminasa permite mejorar en los productos características de textura y cohesión, aunque también se usa en combinación con sal, fosfatos alcalinos e ingredientes de curado; tiene la capacidad de llevar a cabo una modificación en las propiedades funcionales y de textura de las proteínas, creando productos con mayor consistencia y de mejor calidad (Sams, 2001).

### **1.6.2 MECANISMO DE ACCIÓN DE LA TRANSGLUTAMINASA EN ALIMENTOS**

La Transglutaminasa químicamente actúa como catalizador potente y eficaz. La característica más sobresaliente de las enzimas es su elevada especificidad. En carnes reestructuradas la incorporación de transglutaminasa (TGasa; protein-glutamina  $\delta$ -glutamyltransferasa), cataliza la reacción entre cadenas peptídicas con residuos glutamina y lisina (Bourneowet *et al.*, 2012; Soto *et al.*, 2010; De Jong y Koppelman; 2002)

La propiedad fundamental de la TGasa se caracteriza por formar enlaces covalentes con las proteínas. La reacción de esta enzima, provoca el entrecruzamiento de proteínas, obteniendo como resultado polímeros de alto peso molecular; cataliza la acil-transferencia entre el grupo  $\gamma$  carboxiamida de un péptido con residuos glutamina (acil – donador) y una variedad de aminas primarias (acil – receptor). El receptor del grupo acil puede ser el grupo  $\epsilon$ -amino de los residuos de lisina de una proteína, estableciéndose un enlace  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamil) lisina. En ausencia de substratos amina, las moléculas de agua actúan como receptores de los grupos acil, produciéndose la desamidación del residuo glutamina (Figura 4).



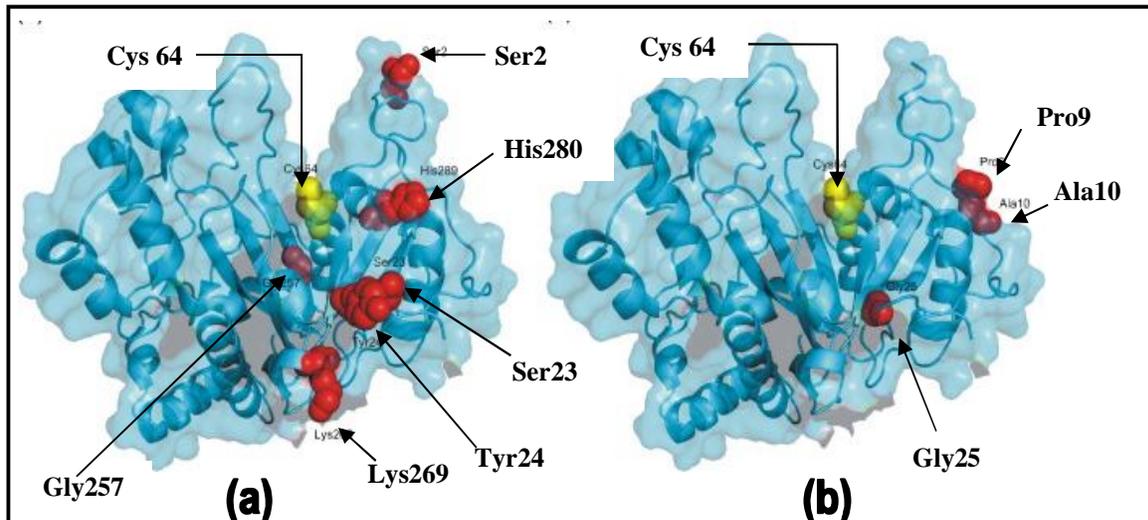
(A) transferencia de grupos acil; (B) entrecruzamiento entre residuos glutamina y lisina de cadenas peptídicas, resultando un enlace  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamil)lisina; (C) desamidación

**Figura 4. Reacciones catalizadas por transglutaminasa**

**Fuente: Motoki y Seguro, 1998**

De esta forma la TGasa modifica las proteínas por incorporación de aminas, interacción con otras cadenas peptídicas o por desamidación. (Bejarano, 2001; Bugueño *et al.*, 2009; Curotto *et al.*, 2007; Hie-joon y Hyo, 1999; Jozami y Seselovsky, 2003; Kashiwagi *et al.*, 2002; Kingsley *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2006; Schleeauf, 2001; Téllez *et al.*, 2004).

En la estructura tridimensional de la TGasa (ver Figura 5a), un residuo de Tirosina (Tyr) restringe la accesibilidad del sitio activo y los iones Ca<sup>2+</sup> causan un cambio estructural que libera al residuo de Tyr y permite que se forme un complejo intermedio acil-enzima. Sin embargo, en la TGm (ver Figura 5b), el residuo catalítico Cys<sup>64</sup> está suficientemente expuesto al solvente lo que le permite reaccionar rápidamente con el sustrato. Esta diferencia entre los dos tipos de enzima marca su utilización en cuanto a la especificidad del sustrato y la velocidad de reacción de la misma (Moreno, 2010)



**Figura 5 Estructura (a) TGasa de origen tisular y (b) TGM de origen microbiano de *Streptomyces mobaraense***

Fuente: Kashiwagi *et al.*, 2002

## 1.7 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL PRODUCTO

La gelificación de las proteínas miofibrilares es la propiedad funcional más importante en productos reestructurados y es responsable de la textura. En estos productos se espera que la gelificación de las proteínas produzca varios niveles de dureza (Cheftelet *et al.*, 1977).

Las propiedades texturales son las características más apreciadas por el consumidor y son difíciles de definir, ya que una misma muestra puede tener diferente significado para cada persona, pero existen factores que pueden alterar dichas propiedades y dependen de las características de la matriz formada, la cual varía en función de diferentes constituyentes: grasa (porcentaje y composición en ácidos grasos), proteína, agua añadida, sal, así como por la incorporación de otros ingredientes y aditivos (Hernández y Ríos, 2009).

En productos reestructurados tipo hamburguesa, la reducción de grasa conlleva un aumento en la firmeza, lo cual se atribuye a la capacidad de la grasa para actuar como lubricante y disminuir la densidad del producto durante la masticación; otros factores son las condiciones de conservación, el porcentaje de proteína en el producto ya cocinado y la

temperatura de cocción y de consumo. En general, cuanto mayor es el porcentaje de proteína mayor es la firmeza de los productos obtenidos. A medida que la proporción de grasa disminuye en sistemas finamente picados, la distancia entre partículas aumenta, existiendo factores que condicionan las propiedades ligantes de grasa y agua; entre ellos la composición del producto, la fuerza iónica del medio, la funcionalidad proteica de las materias primas, los tratamientos mecánicos implicados en el procesamiento, el tratamiento térmico y la presencia de ingredientes y aditivos. Como en cualquier producto cárnico, en los de bajo contenido en grasa también se producen alteraciones durante su permanencia en los muebles de exposición y venta al detalle como consecuencia de la acción de la luz y los cambios de temperatura. Depende del tipo de producto, del porcentaje de grasa y de las condiciones de envasado (Bejarano, 2001).

### 1.7.1 EVALUACIÓN DE DUREZA

La dureza es definida como el máximo de fuerza a una compresión dada (Totosaus, 1996). También se define como la fuerza requerida para deformar el alimento o hacer penetrar un objeto en él. Sobre la dureza de la carne influyen: el tamaño de los haces de fibras musculares, y el número de fibras que cada uno de ellos contiene, ya que estas fibras presentan diferentes capacidades de contracción y de retención de agua y, por tanto, reaccionan de distinta forma a la temperatura. También inciden sobre la dureza la longitud del sarcómero y de las miofibrillas, de forma que cuanto mayor es el estado de contracción mayor es la dureza. Otro concepto es que la dureza es completamente independiente de la longitud del sarcómero en los músculos de rápida glucólisis *post mortem*; y que la dureza disminuye a medida que aumenta la longitud del sarcómero.

La cantidad y naturaleza del tejido conjuntivo influye; teniendo mayor cantidad de colágeno implica mayor dureza, pero mucho más si está muy polimerizado, con lo que disminuye su solubilidad (Onega, 2003).

La textura de los productos cárnicos es un elemento esencial por cuanto constituye uno de los principales criterios que condiciona su aceptación o rechazo por el consumidor (Field *et al.*, 1984). Asimismo, la unión de las partículas que conforman los reestructurados resulta un parámetro esencial a valorar en este tipo de productos (Serrano *et al.*, 2005).

En la carne el sexo influye en la dureza de la misma y la de los machos es más dura, debido a un mayor contenido en colágeno y una menor cantidad de grasa de infiltración que las hembras, ya que la testosterona incrementa los niveles de colágeno. Estos y otros factores influyen en gran medida en la dureza de la carne (Onega, 2003); por lo que tiene un papel importante; al ser uno de los criterios que determinan la calidad de la carne y que condicionan su compra. Este parámetro depende de la dureza miofibrilar y de la dureza debida al contenido y características del colágeno (Asenjo, 1999; Lawrie, 1998; Onega, 2003).

### 1.7.2 EVALUACIÓN DE SINÉRESIS

El agua es el componente más importante de la carne (65% - 80% del peso total). Por lo que su pérdida afecta de manera negativa el rendimiento de la carne durante su almacenamiento y venta. El agua se encuentra en la carne en tres formas diferentes: agua ligada, agua inmovilizada y agua libre. La pérdida de agua libre es la más importante en el enfriamiento y almacenamiento de canales, dicha pérdida es por evaporación y goteo. La capacidad de retención de agua (CRA), se refiere a la capacidad de la carne para retener agua cuando se somete a factores externos como corte, presión, temperatura, etc. Al aplicar cualquier factor externo, la carne pierde humedad debido al agua libre de su estructura (Hernández y Ríos, 2009).

Cuando la cantidad de agua liberada es medida, es determinada como capacidad de retención de agua, o como pérdida de humedad, la cual es la cantidad de agua liberada por gramo de muestra (Totosaus, 1996). La sinéresis es el proceso mediante el cual el producto desprende agua; la que generalmente se observa en el fondo de la bolsa del envase de un producto cárnico empacado, para la realización de esta prueba se extrae el producto contenido dentro de la bolsa, pesándose en una balanza digital la bolsa con el agua contenida. Se elimina el agua contenida y se pesa solamente la bolsa. Es importante mencionar que el agua desprendida por el producto, contribuye para el crecimiento bacteriano (Berganza, 2006; Restrepo *et al.*, 2010).

Es por eso que las características físicas (textura) de la carne están relacionadas con la CRA. En la carne el contenido de agua y su distribución influyen en la dureza, jugosidad, color y apariencia; la jugosidad es importante en el proceso de transformación de la carne, tanto para elaborar productos cárnicos, así como para su consumo en fresco (Asenjo, 1999).

---

# **CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

## 2.1 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del uso de Transglutaminasa de origen microbiano (TGm) en la estabilidad estructural de un producto reestructurado tipo medallón elaborado con carne congelada de pavo, a partir de la evaluación de dureza y la medición de sinéresis producida, para seleccionar el tiempo de reposo y concentración adecuados que confieren mayor estabilidad en el producto reestructurado.

### OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar el efecto de la adición de TGm en la reestructuración de un producto tipo medallón elaborado con pulpa de pechuga congelada de pavo, midiendo la sinéresis producida a las 48 h desde su elaboración, con respecto de un lote sin transglutaminasa.
2. Evaluar el efecto de la adición de TGm en la reestructuración de un producto tipo medallón elaborado con pulpa de pechuga congelada de pavo, sometido a tiempos de reposo de 18, 48 y 120 h desde su elaboración, en la evaluación de dureza con respecto de aquellos que no tuvieron tiempo de reposo después de su elaboración.
3. Evaluar el efecto de la adición de TGm en la reestructuración de un producto tipo medallón elaborado con pulpa de pechuga congelada de pavo, sometido a tratamiento térmico de 55 °C durante 30 min y tiempos de reposo de 18, 48 y 120 h desde su elaboración sobre la sinéresis producida.
4. Evaluar el efecto de la adición de TGm en la reestructuración de un producto tipo medallón elaborado con pulpa de pechuga congelada de pavo, sometido a tratamiento térmico de 55 °C durante 30 min y tiempos de reposo de 18, 48 y 120 h desde su elaboración en la evaluación de dureza.

## HIPÓTESIS

La adición de TGm (en concentraciones de 0.05% y 0.1%) en la reestructuración de carne de pavo, producirá un gel con un entrecruzamiento más fuerte y cerrado con las proteínas de la carne, provocando mayor dureza y menor sinéresis en el medallón de pavo reestructurado.

### 2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

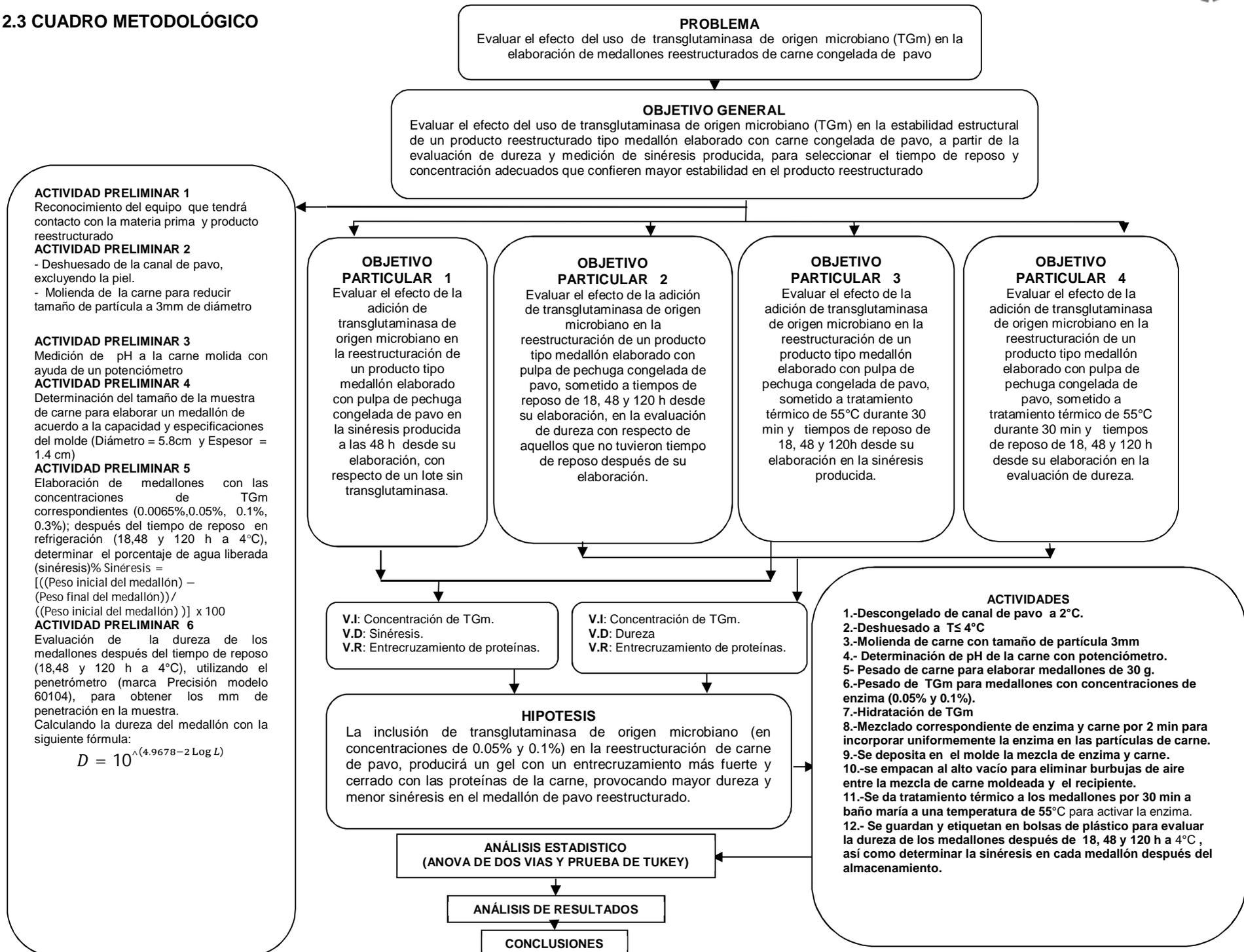
El diseño que se emplea para el análisis de los datos, es un diseño ANOVA de dos vías que al analizar los datos experimentales, permite estudiar simultáneamente los efectos del tiempo de reposo y de la concentración manejada de TGm, en la dureza y en la sinéresis de los medallones reestructurados respectivamente.

Este análisis se llevó a cabo por medio del programa Minitab versión 16, Utilizando  $\alpha=0.05$ .

Lo que se busca es contrastar la hipótesis nula:  $H_0 = \alpha_1 = \alpha_2 \dots \alpha_i = 0$  contra la hipótesis alterna:  $H_1 \neq \alpha_1 \neq \alpha_2 \dots \alpha_i \neq 0$ . Una vez realizado el análisis de varianza se obtuvo la gráfica normal por una recta, donde todos los datos se aproximan a la distribución normal para validar el modelo.



## 2.3 CUADRO METODOLÓGICO



## 2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES

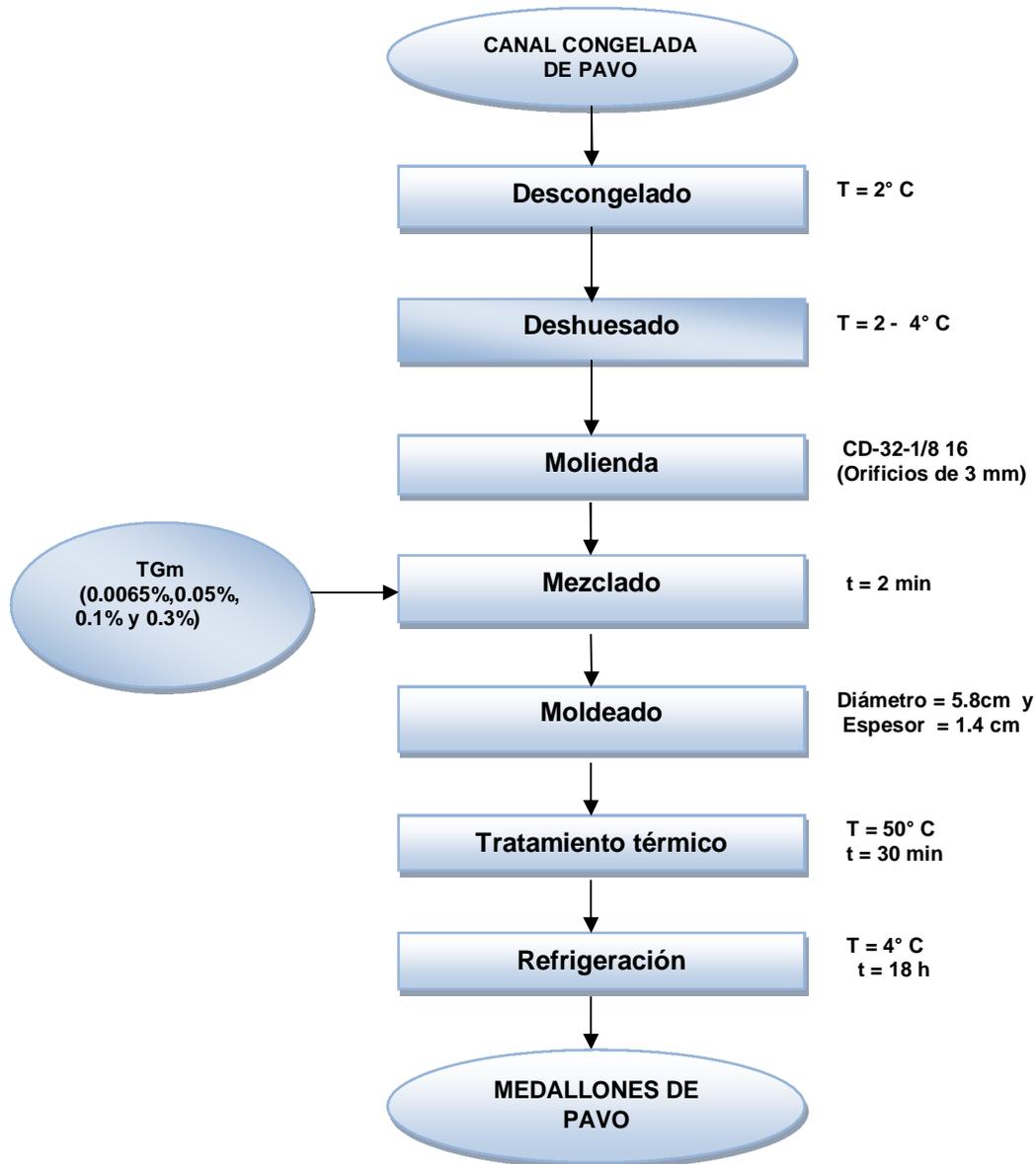


Figura 6 Reestructurado de carne de pavo

## 2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los medallones reestructurados de carne de pavo, se elaboraron en el Laboratorio 7 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Campo 4. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC). Se trabajó con carne de pechuga de pavo proporcionada por el Taller de Cárnicos de la misma facultad; la carne fue obtenida de pavos mantenidos en congelación por un tiempo de 10 meses a  $-20^{\circ}\text{C}$ . La canal de pavo se descongeló en refrigeración a  $2^{\circ}\text{C}$ , para evitar daños en la estructura del tejido muscular (Figura 7).



**Figura 7 Descongelación de canal de pavo**

Una vez descongelada completamente la canal de pavo, se llevó a cabo el deshuesado a temperatura de  $2^{\circ}\text{C}$  a  $4^{\circ}\text{C}$  (ver Figura 8), para obtener la materia prima cárnica que se utilizó (pechuga de pavo).



**Figura 8 Deshuesado de canal de pavo**

La molienda de la carne de pechuga de pavo, se realizó en un molino eléctrico marca TORREY con un cedazo (CD-32-1/8 16) de orificios de 3mm (Figura 9), con el fin de disminuir el tamaño de partícula y romper la estructura muscular, además de mejorar la suavidad de la carne.



**Figura 9 Molienda de carne de pechuga de pavo**

En el mezclado, se incorporó a cada lote de carne de pavo obtenida de la molienda (ver Figura 10), cada una de las soluciones de TGm (0.0065%, 0.05%, 0.1% y 0.3%); homogeneizando manualmente con ayuda de una espátula, por un tiempo de 2 min. para obtener una distribución uniforme de la TGm en cada lote de carne.



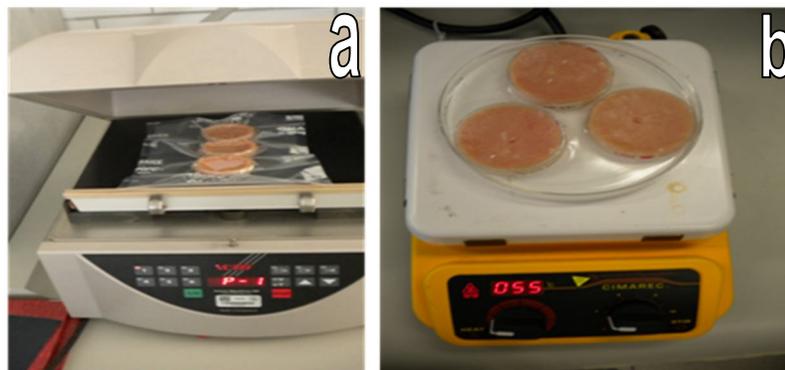
**Figura 10 Adición de TGm y mezclado de carne**

Una vez obtenida la pasta del mezclado, se procedió a moldear en recipientes circulares con diámetro = 5.8 cm y espesor = 1.4 cm (Figura 11).



**Figura 11 Moldeado de mezcla de carne**

Después del moldeado se empacaron al alto vacío para eliminar burbujas de aire entre la mezcla de carne moldeada y el recipiente (Figura 12 a); se aplicó el tratamiento térmico en baño maría, por un tiempo de 30 min a una T de 55°C, con la finalidad de activar la enzima y que se llevara a cabo en menor tiempo la reestructuración (Figura 12 b).



**Figura 12 Empacado a vacío y tratamiento térmico de moldes con pasta cárnica**

Ya que se aplicó el tratamiento térmico, se refrigeró por un tiempo de 18 h a una T de 4°C (Figura 13).

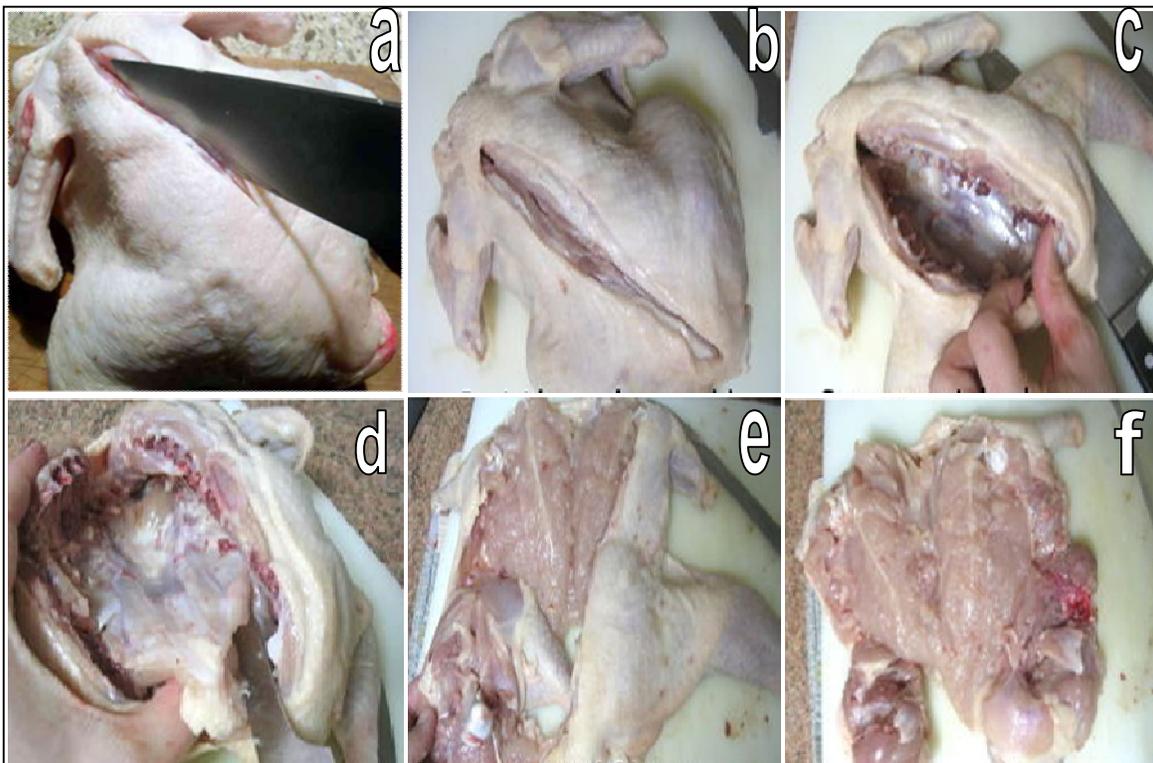


**Figura 13 Refrigeración de moldes con reestructurado**



El deshuesado de la canal se llevó a cabo como se describe a continuación:

1. Se colocó el pavo con la pechuga hacia abajo y se hizo una incisión longitudinal con el cuchillo por la espalda (Figura 16 a).
2. Se separó la piel y la parte central del esqueleto. A la vez se descoyuntaron (desencajaron) los fémures separándolos del esqueleto (Figura 16 b).
3. Se cortó el hueso al final de la espalda y se obtuvo la pechuga. Con un cuchillo se separó la carne del hueso (Figura 16 c).
4. Se fue separando del esqueleto hacia arriba, hasta llegar a las alas (Figura 16 d).
5. Se retiró el fémur haciendo un corte longitudinal al hueso, se cortaron los tendones y se sacó el hueso (Figura 16 e).
6. Se obtuvo la carne deshuesada (Figura 16 f).



**Figura 16 Procedimiento de deshuesado de canal de pavo**

Después de obtener la carne de pechuga de pavo, se le determinó su pH, ya que el pH tiene un rol decisivo en la calidad del reestructurado y en la retención de humedad en el mismo; además de que valores de pH bajos pueden ser señal de descomposición de la carne.

El procedimiento para medir el pH, es el siguiente:

1. Pesar 10 g de muestra (carne de pavo) (Figura 17 a).
2. Colocar la muestra en un vaso para licuadora, agregar 100 ml de agua destilada y licuar por 30 segundos (Figura 17 b).
3. Empleando un sistema de vacío, se filtra la solución obtenida de la licuación.
4. Se realiza la calibración de él potenciómetro (medidor de mesa) con soluciones amortiguadoras de pH 4, pH 7 y pH 10 (Figura 17 c).
5. Una vez calibrado, se introduce el electrodo del potenciómetro en la solución que se obtuvo de la filtración, hasta que muestra el valor de pH en la pantalla del potenciómetro (Figura 17 d).
6. Una vez terminada la lectura, se lava el electrodo con agua destilada, para realizar una nueva medición.
7. Cada lectura se realizó por triplicado, para corroborar las lecturas obtenidas de la muestra en particular.
8. El valor de pH para la carne de pavo utilizada, fue de 6.24.



**Figura 17 Medición de pH en carne de pavo**

Se elaboraron modelos reestructurados de carne de pechuga de pavo, con tamaño de partícula diferente mediante el uso de diferentes cedazos (3 mm, 10 mm, 30 mm).

Una vez seleccionado el tamaño de partícula manejado, se procedió a realizar el molido de la carne de pechuga de pavo que se requirió para la elaboración de los medallones; realizando el molido en el menor tiempo posible, para evitar el calentamiento o daño de la estructura de la carne.

Se determinó la cantidad de carne necesaria para elaborar un medallón de acuerdo con las especificaciones del molde (diámetro = 5.8 cm y espesor = 1.4 cm), por diferencia de peso; el procedimiento fue el siguiente:

1. Se pesó el molde vacío.
2. Se llenó el molde con la cantidad necesaria de carne.
3. Se pesó el molde con la carne agregada.
4. Por diferencia de peso del molde con carne agregada menos el peso del molde vacío, se obtuvo el peso de carne necesario para elaborar un medallón de acuerdo con las especificaciones del molde (diámetro = 5.8 cm y espesor = 1.4 cm)
5. Cada lectura se realizó por triplicado con moldes de las mismas características (diámetro = 5.8 cm y espesor = 1.4 cm).
6. Obteniendo como resultado que fueron necesarios 30 g de carne para elaborar cada medallón.

Una vez que se determinó el pH=6.24 y la cantidad necesaria para elaborar un medallón de carne de pavo, se elaboraron los medallones adicionando a la carne la TGm en las concentraciones utilizadas (0.065%, 0.05%, 0.1% y 0.3%), según correspondió.

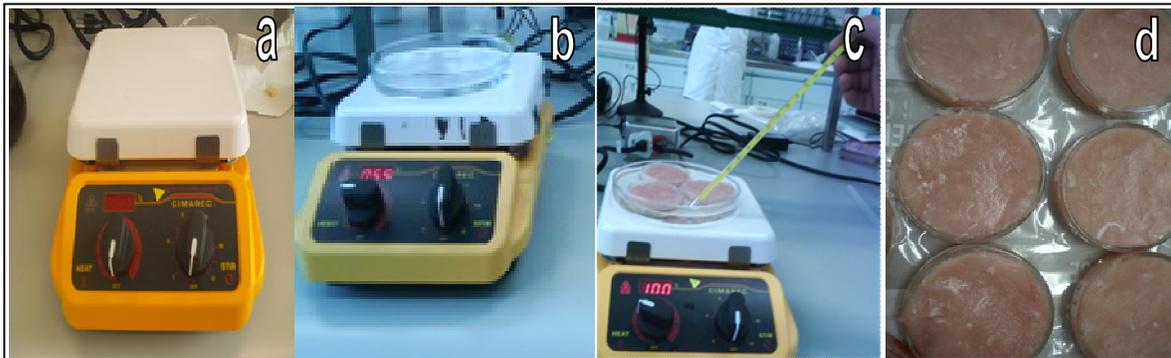
Se empacaron al alto vacío para eliminar burbujas de aire entre la mezcla de carne moldeada y el recipiente. Primero se hizo el vacío: eliminando todo el aire, luego por aplicación de calor se encogieron las bolsas para que el producto estuviera ceñido al envase.

Se dio el tratamiento térmico a baño maría por 30 min a una temperatura de 55°C, para acelerar la activación la enzima, ya que la TGm es activa en un rango de pH, entre 5 y 9 y en un intervalo de temperatura entre 4 y 75°C, donde 55°C es la temperatura óptima, y se inactiva cuando se calienta a 80°C; por lo cual durante dicho tratamiento se debe de verificar que la temperatura que se aplica, se mantenga constante (55°C) durante el tiempo de tratamiento.

El procedimiento para el tratamiento térmico fue el siguiente:

1. Se colocó en la mesa de trabajo, una parrilla eléctrica (Figura 18 a).
2. Sobre la parrilla, se colocó una caja Petri de vidrio de 15 cm de diámetro en la cual se añadió agua, para el baño maría (Figura 18 b).

3. Se encendió la parrilla para iniciar el calentamiento del baño maría.
4. Se colocaron los moldes que contenían los medallones en el baño maría para darles el tratamiento por 30 min, controlando y verificando que la temperatura se mantuviera constante a 55° C (Figura 18 c).
5. Una vez terminado el tratamiento térmico por 30 min, se retiraron del baño maría los moldes que contenían los medallones y se dejaron enfriar a temperatura ambiente (25° C) (Figura 18 d).



**Figura 18 Tratamiento térmico a medallones de pavo**

Una vez enfriados los moldes que contenían los medallones, se introdujeron en bolsas individuales de plástico dejando reposar en refrigeración (4°C) por tiempos de 18, 48 y 120 h; para después del tiempo de reposo, determinar el porcentaje de agua liberada (sinéresis), lo cual se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Se pesó el molde vacío.
2. Se pesó el molde con el medallón (ver Figura 19 a).
3. Antes de guardar el molde con el medallón en la bolsa, se pesó la bolsa (1.36 g) (Figura 19 b).
4. Se pesó el pañuelo de papel que se empleó para absorber el agua liberada por el medallón (1 g) (Figura 19 c).
5. Después del tiempo de reposo de los medallones, se secó ligeramente la superficie al medallón con el pañuelo de papel sin hacer presión (Figura 19 d), se desmoldó el medallón con una espátula y se secó ligeramente la base del medallón con el mismo pañuelo (Figura 19 e), así como la humedad que quedó en el molde (Figura 19 f).

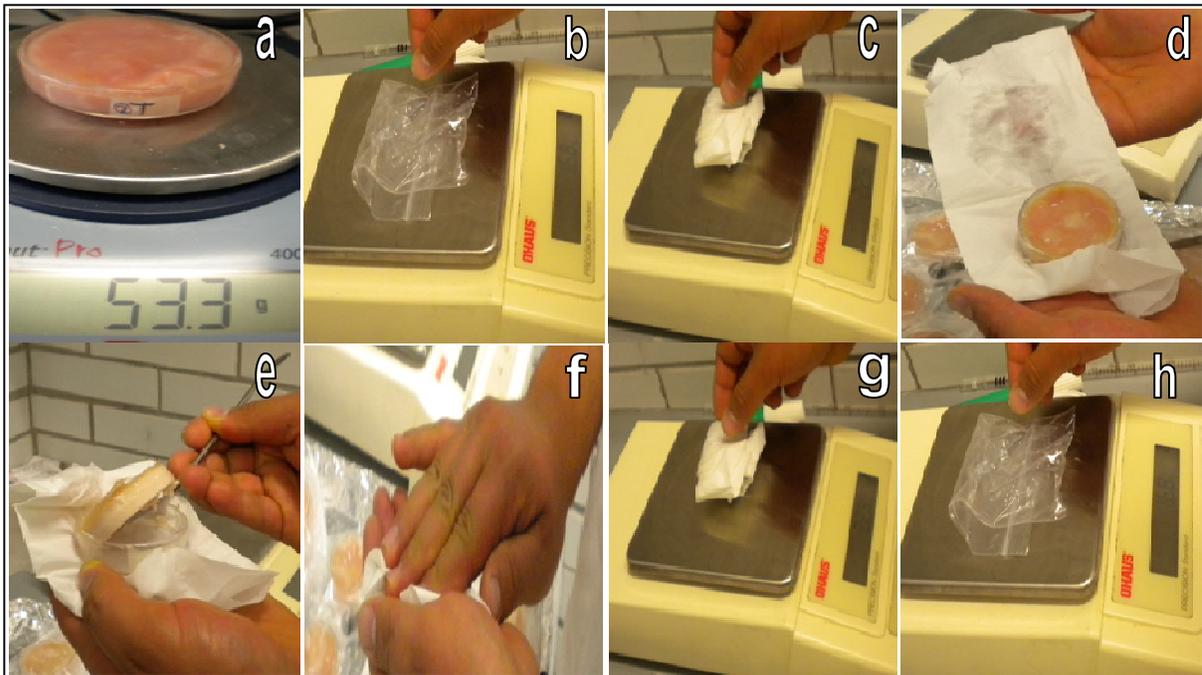
6. De la diferencia de pesos del pañuelo húmedo (Figura 19 g), menos el peso del pañuelo seco (1 g) (Figura 19 c), se obtiene el agua que quedo en el pañuelo.
7. De la diferencia de pesos entre la bolsa con agua liberada por el medallón (Figura 19 h), menos el peso de la bolsa seca (Figura 19 b), se obtúvo el agua que quedó en la bolsa.
8. Por lo tanto la sinéresis se estimó a partir del agua que quedó en el pañuelo más el agua que quedó en la bolsa.
9. Finalmente el % de sinéresis se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Sinéresis} = \left[ \frac{(\text{g Agua liberada})}{(\text{g Inicial del medallón})} \right] \times 100$$

10. Tomando en cuenta el peso del medallón se calculó como:

$$\% \text{ Sinéresis} = \left[ \frac{(\text{Peso inicial del medallón}) - (\text{Peso final del medallón})}{(\text{Peso inicial del medallón})} \right] \times 100$$

11. Para cada concentración manejada (0.0065%, 0.05%, 0.1%, 0.3%), se realizó el mismo procedimiento y se realizó por triplicado para cada concentración.



**Figura 19 Procedimiento de medición de sinéresis en medallones de pavo**

La evaluación de dureza se llevó a cabo con un penetrómetro marca Precisión modelo 60104. Su principio operativo se basa en la profundidad de la penetración del dispositivo empleado (cono); seleccionando el tiempo que se requiera la penetración en la muestra, considerando un tiempo estándar de 5 segundos como mínimo.

La dureza se determinó de la siguiente manera:

1. Se inicia con la calibración del penetrómetro con ayuda de los tornillos que se localizan en la base del mismo, hasta que la burbuja de aire se encuentre colocada al centro de la marca de la circunferencia localizada en la parte trasera del soporte de la varilla (Figura 20 a).
2. Una vez calibrado se toma el cono y se atornilla en el dispositivo de la varilla hasta que llegue ligeramente al tope.
3. Cuando ya está colocado el dispositivo se sujeta la varilla y se presiona la palanca de freno para liberar la varilla con el dispositivo y se ajusta usando el tornillo sujetador del dispositivo que contiene la varilla a manera que la punta del cono no vaya a impactar la base del penetrómetro (Figura 20 b).
4. Una vez ajustada la distancia máxima de caída del dispositivo al ser liberada, se vuelve a sujetar la varilla con el dispositivo, se presiona la palanca de freno y se levanta ligeramente para que se coloque la muestra (Figura 20 c y 20 d).
5. Una vez colocada la muestra, el cono de penetración se posiciona sobre la superficie de la muestra, se registra la lectura de inicio en el disco del penetrómetro (Figura 20 e) y empleando los tiempos seleccionados, se inicia el ensayo de penetración presionando la palanca de freno para liberar la varilla que contiene el dispositivo (cono 15°), y cae sobre la muestra bajo la influencia de la gravedad por el tiempo fijado (Figura 20 f).
6. Se deja de presionar la palanca de freno y se registra la lectura de la distancia penetrada, marcada en mm en el disco del penetrómetro (Figura 20 g).
7. Se limpia el dispositivo (cono), con toallas húmedas antes de cada lectura. Se realizan lecturas en 5 partes de la muestra en forma pentagonal. Una vez realizadas todas las mediciones se retira el dispositivo de la varilla y se coloca en la base del penetrómetro en forma invertida (Figura 20 h).

8. Finalmente se calculó la dureza para cada lectura con la siguiente fórmula:

$$\text{Log}D = 4.9678 - 2\text{Log}L$$

De la cual se despeja  $D$ :

$$D = 10^{(4.9678 - 2 \text{Log} L)} \quad D = \text{Dureza en Dinas/cm}^2$$

$$L = \text{Lectura de la distancia penetrada en cm}$$

La conversión de  $\text{Dinas/cm}^2$  a  $\text{kg f/cm}^2$  se llevó a cabo con la siguiente relación:

$$\frac{\text{Dinas}}{\text{cm}^2} \left[ \frac{1 \times 10^{-5} \text{ Newton}}{1 \text{ Dina}} \right] \left[ \frac{1 \text{ kg f}}{9.806 \text{ Newton}} \right] = \frac{\text{kg f}}{\text{cm}^2}$$

9. Para cada concentración manejada (0.0065%, 0.05%, 0.1%, 0.3%), se realizó el mismo procedimiento por triplicado.

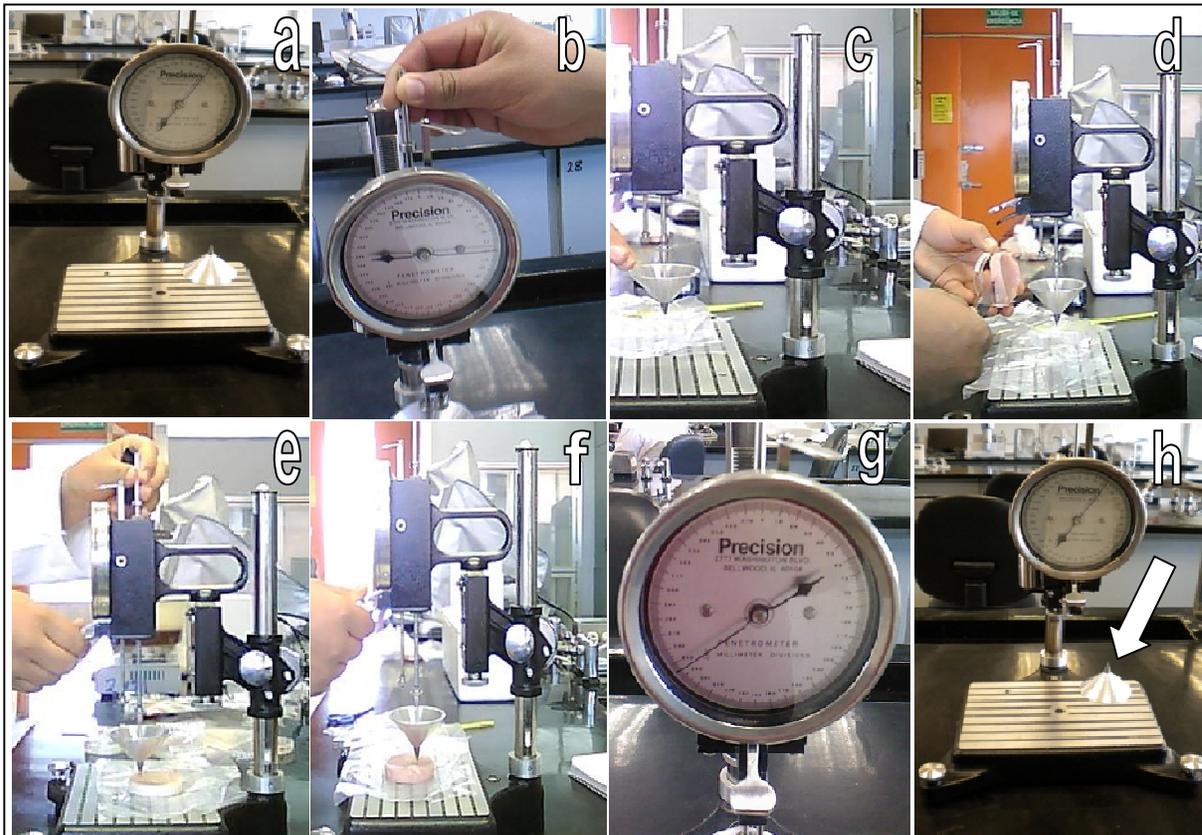


Figura 20 Procedimiento de evaluación de dureza en medallones de pavo

---

# **CAPÍTULO 3**

# **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

# **DE RESULTADOS**

Los valores obtenidos de sinéresis, para cada tiempo de reposo y para cada concentración en específico, se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7 Resultados globales de sinéresis de medallones de pavo en los lotes con reposo con y sin tratamiento térmico y TGm**

TIEMPO DE REPOSO (h)	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.0065 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.05 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.1 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.3 %TGm
18 →(CR y STT)	1.6735	3.1456	1.5560	3.3121	1.8017
18 →(CR y CTT)	3.3944	2.5856	2.3784	2.7782	3.4472
48 →(CR y STT)	4.9214	3.4654	2.4850	5.0207	3.7305
48 →(CR y CTT)	2.4147	2.2477	1.8277	1.9258	2.4830
120 →(CR y STT)	2.9675	1.3476	6.0117	3.9838	5.4468
120 →(CR y CTT)	3.2943	3.4490	5.0631	4.4929	4.8519
CR → Con Tiempo de Reposo      STT → Sin Tratamiento Térmico SR → Sin Tiempo de Reposo      CTT → Con Tratamiento Térmico					

Los valores obtenidos de dureza, para cada tiempo de reposo y para cada concentración en específico, se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8 Resultados globales de dureza de medallones de pavo en los lotes con reposo con y sin tratamiento térmico y con reposo sin tratamiento térmico con TGm**

TIEMPO DE REPOSO (h)	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.0065 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.05 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.1 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.3 %TGm
0 →(SR y STT)	0.292883	0.155162	0.14745	0.200905	0.192877
120 →(CR y STT)	0.361727	0.446821	0.525694	0.603638	0.90872
18 →(CR y CTT)	0.546555	0.259131	0.471303	0.332615	0.290034
48 →(CR y CTT)	0.3197	0.304315	0.315076	0.378119	0.340691
120 →(CR y CTT)	0.453997	0.333865	0.353709	0.241886	0.304301
CR → Con Tiempo de Reposo      STT → Sin Tratamiento Térmico SR → Sin Tiempo de Reposo      CTT → Con Tratamiento Térmico					

Los datos de dureza de la Tabla 7 y de sinéresis de la Tabla 8, muestran que en ambos casos influyó el tratamiento térmico, ya que cuando se aplicó tratamiento térmico de 55°C durante 30 minutos, las características del medallón se modificaron en mayor medida en comparación con lo ocurrido cuando no se aplicó tratamiento térmico, lo que permite asumir que se produjo una mayor actividad de la enzima al encontrarse en los intervalos de su temperatura óptima de activación, pero también por el tiempo de reposo, ya que cuando se dejó por un lapso mayor, se obtuvieron mayor dureza y sinéresis, probablemente porque la enzima seguía activa, creando enlaces con las proteínas, en tanto que, en el caso de los que no se sometieron a tratamiento térmico, fue más largo el tiempo que tardó en activarse la enzima.

Aunado a lo anterior Serrano *et al.*, 2005, mencionan que los productos reestructurados experimentan un endurecimiento mayor, a lo largo del periodo de reposo. Este aumento es debido a diferentes factores, principalmente a la sinéresis producida. Originando pérdida de peso y productos más rígidos con una mayor resistencia a la penetración.

Según Heremans *et al.*, 1997, en reestructurados, al aplicar un tratamiento térmico se obtienen estructuras más fuertes. Esto debido a que, como consecuencia del tratamiento térmico, las proteínas se despliegan haciendo posible una mayor interacción proteína-proteína en la formación de la red proteica, lo que constituye una estructura con más estabilidad.

Aunque Sakamoto *et al.*, 1995, reportan que como consecuencia de la aplicación del tratamiento térmico se observa que la firmeza de los reestructurados aumenta debido principalmente al establecimiento de enlaces covalentes entre las proteínas. Moreno, 2010 y Tornberg, 2005, reportan que los reestructurados tratados térmicamente, en cuanto a la dureza mostraron un incremento de forma significativa respecto al tiempo de almacenamiento, lo cual puede ser también debido al establecimiento de enlaces hidrofóbicos.

Para poder interpretar de manera válida los datos de las Tablas 7 y 8, se realizó el análisis estadístico ANOVA de dos vías, para determinar cómo afectaron el tiempo de reposo y la concentración manejada de TGm, la dureza y la sinéresis de los medallones reestructurados, variables evaluadas respectivamente con el Precisión Universal

Penetrometer modelo 60104 (St. Louis, MO 63120-1798); así como, el caso de la sinéresis por diferencia de peso.

Se plantearon las hipótesis nulas ( $H_0$ ) y las hipótesis alternas ( $H_1$ ), donde después de haber realizado el análisis estadístico ANOVA de dos vías en el programa Minitab versión 16, con un nivel de significancia del 5%, que corresponde a  $\alpha=0.05$ , se pudo concretar y analizar cómo influyen las variables utilizadas (tiempo y concentración) con respecto a los parámetros analizados (dureza y sinéresis), en los medallones elaborados.

Aunque las pruebas de hipótesis con ANOVA de dos vías permiten afirmar estadísticamente que existe o no diferencia significativa en los parámetros y variables utilizadas en los medallones; se hizo una comparación con la prueba de Tukey en el programa Minitab versión 16, con un Intervalo de confianza simultáneo del 95%, que corresponde a  $\alpha=0.05$ ; ya que permite comparar las medias de forma más estricta, evitando así que se haya asumido como válida una hipótesis, y al hacer la comparación con la mínima variación de medias de la prueba de Tukey, resulte esta hipótesis no válida; o por el contrario si la hipótesis no era válida con ANOVA, al hacer la prueba de Tukey, resulta que es válida.

**Tabla 9 Resultados de sinéresis de medallones de pavo en los lotes con reposo y sin tratamiento térmico con TGm**

TIEMPO DE REPOSO (h)	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.0065 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.05 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.1 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.3 %TGm
0 (SR y STT)	0	0	0	0	0
48 (CR y STT)	4.9214	3.4654	2.4850	5.0207	3.7305
CR → Con Tiempo de Reposo      STT → Sin Tratamiento Térmico SR → Sin Tiempo de Reposo					

**SINÉRESIS contra TIEMPO CONCENTRACION 0 y 48 h de reposo y sin tratamiento térmico (Tabla 10)**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de un lote sin tiempo de reposo y un lote con 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de un lote sin tiempo de reposo y un lote con 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.

**Tabla 10 ANOVA de dos vías para sinéresis de medallones de pavo con reposo y sin tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	1	38.5062	38.5062	68.21	<u>0.001</u>
Con respecto a la concentración	4	2.2580	0.5645	1.00	<u>0.500</u>
Error	4	2.2580	0.5645		
Total	9	43.0222			

La probabilidad de que el tiempo y la concentración afecten en la sinéresis de los medallones reestructurados, resultó con respecto al tiempo  $p=0.001$ ; y con respecto a la concentración  $p=0.500$ . Por lo anterior es posible concluir que la hipótesis alterna (H1) se acepta con respecto al tiempo por ser menor a 0.05, valor que indica que existió diferencia significativa en la sinéresis con respecto al tiempo, y se acepta la hipótesis nula (Ho) con respecto a la concentración, por lo que para el caso de concentraciones no existió diferencia significativa en la sinéresis tanto para las 48 h de reposo y sin tratamiento térmico, respecto de los medallones sin TGm.

La Tabla 11 muestra que estadísticamente las medias no comparten una letra con las que se agrupan (A, B), por lo que la sinéresis con respecto al tiempo de reposo es significativamente diferente; con una media de 0 % de sinéresis para 0 h, y 3.9246% de sinéresis para 48 h sin tratamiento térmico. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 95%

**Tabla 11 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al tiempo de reposo 0 y 48 h de reposo y sin tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
48 h, sin tratamiento térmico	3.9246	1.0625	A
0 h, sin tratamiento térmico	0	0	B

La Tabla 12 muestra que la concentración que presenta el menor porcentaje de sinéresis para estos medallones es la concentración de 0.0500% TGm, con una media de 1.242% sinéresis; aunque estadísticamente todas las medias comparten la misma letra con las que se agrupan (A), lo que indica que en la sinéresis con respecto a las concentraciones utilizadas no existió diferencia significativa. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones utilizadas es de 95 %.

**Tabla 12 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al % de TGm 0 y 48 h de reposo y sin tratamiento térmico**

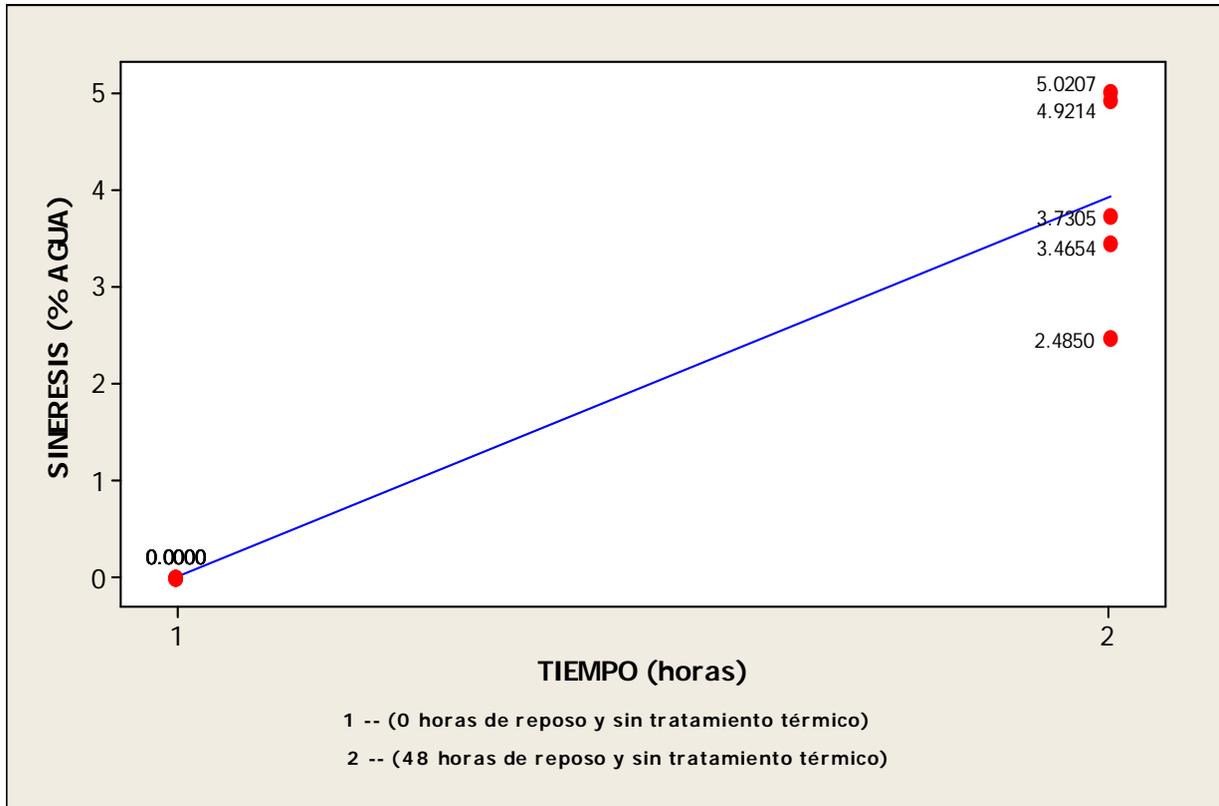
% de TGm	Media	Desviación estándar	Agrupación
0.1000	2.510	3.550	A
0	2.461	3.480	A
0.3000	1.865	2.638	A
0.0065	1.733	2.450	A
0.0500	1.242	1.757	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se puede afirmar estadísticamente que en la sinéresis de medallones de pavo sin tratamiento térmico a las 0 y 48 h. de reposo, existió diferencia significativa respecto al tiempo de reposo; pero respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; por lo que la sinéresis producida en los medallones de pavo a las 0 y 48 h. de reposo sin tratamiento térmico, está en función del tiempo de reposo más no de las concentraciones utilizadas.

En la Figura 21, los datos de la sinéresis de medallones sin tratamiento térmico a las 48 h. de reposo, presenta un incremento de la sinéresis respecto a medallones con tiempo de reposo de 0 h; como indican Restrepo *et al.*, 2010, que la sinéresis presenta diferencia en función del tratamiento térmico y tiempo de reposo del producto, aumentando dicha sinéresis con respecto al tiempo de reposo.

Por lo que estadísticamente y gráficamente, se afirma que cuando se elaboran medallones de pavo sin tratamiento térmico, se produce una mayor sinéresis a las 48 h de reposo. Así mismo se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar, que corresponde a 0.0065%TGm, debido a que estadísticamente las

concentraciones utilizadas no influyen en la sinéresis de los medallones a las 48 h de reposo; aunque los medallones que presentan menor sinéresis estadísticamente son los de 0.0500% TGM con una media de 1.242% sinéresis.



**Figura 21 Gráfica de resultados de sinéresis de medallones de carne pavo contra tiempo de reposo sin tratamiento térmico a las 0 y 48 h**

En la Tabla 13, se muestran los datos de dureza obtenidos para los medallones elaborados sin tratamiento térmico; donde se observa que en la evaluación se obtuvieron datos idénticos de la dureza desde su elaboración, hasta las 18 y 48 h de reposo, sin embargo, al evaluar los de 120 h, se obtuvieron datos diferentes, lo que podría explicarse debido a que la enzima no se activó de la misma manera que cuando se aplicó tratamiento térmico, ya que la velocidad de reacción de la enzima en esas condiciones sería más lenta al inicio hasta alcanzar una actividad similar a la de la que es activada por tratamiento térmico; en consecuencia, se obtuvo la estabilidad en la estructura de los enlaces formados por la enzima en las proteínas de la carne.

**Tabla 13 Resultados del efecto del tiempo de reposo en la dureza de medallones de pavo sin tratamiento térmico con TGm**

TIEMPO DE REPOSO (h)	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.0065 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.05 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.1 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.3 %TGm
0 →(SR y STT)	0.292883	0.155162	0.14745	0.200905	0.192877
18 →(CR y STT)	0.292883	0.155162	0.147450	0.200905	0.192877
48 →(CR y STT)	0.292883	0.155162	0.147450	0.200905	0.192877
120 →(CR y STT)	0.361727	0.446821	0.525694	0.603638	0.908720
CR → Con Tiempo de Reposo      STT → Sin Tratamiento Térmico SR → Sin Tiempo de Reposo					

**DUREZA contra TIEMPO CONCENTRACION Sin reposo contra 18 48 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico (Tabla 14)**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de un lote sin tiempo de reposo y lotes de 18,48 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de un lote sin tiempo de reposo y lotes de 18,48 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico.

La probabilidad de que el tiempo y la concentración afecten en la dureza de los medallones reestructurados, fue menor de 0.05 con respecto al tiempo de reposo  $p=0.000$ ; pero mayor con respecto a la concentración  $p=0.453$ , por lo que se concluye que la hipótesis alterna (H1) se acepta respecto al tiempo de reposo, y la hipótesis nula (Ho) se acepta con respecto a la concentración de TGm manejados en los medallones reestructurados, indicando que existió diferencia significativa en la dureza de los medallones reestructurados con respecto del tiempo de reposo, pero no con respecto de la concentración de TGm manejados.

**Tabla 14 ANOVA de dos vías de los resultados de dureza de medallones de pavo sin y con reposo sin tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	3	0.517447	0.172482	12.68	<b>0.000</b>
Con respecto a la concentración	4	0.053481	0.013370	0.98	<b>0.453</b>
Error	12	0.163176	0.013598		
Total	19	0.734105			

La Tabla 15 muestra que los medallones sin tratamiento térmico con tiempo de reposo de 0,18 y 48 h comparten una misma letra con la que se agrupan (B) y los medallones de tiempo de 120 h de reposo (A), por lo que estadísticamente la dureza con respecto al tiempo de reposo es significativamente diferente.

**Tabla 15 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo sin reposo contra 1848 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
<b>120 h, sin tratamiento térmico</b>	0.5693	0.2100	A
<b>48 h, sin tratamiento térmico</b>	0.1979	0.0579	B
<b>18 h, sin tratamiento térmico</b>	0.1979	0.0579	B
<b>0 h, sin tratamiento térmico</b>	0.1979	0.0579	B

El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 98.87%.

La Tabla 16 muestra que la concentración que presenta menor dureza para estos medallones es la concentración de 0.0065% TGm, con una media de 0.2281 kg f/cm<sup>2</sup>; aunque estadísticamente todas las medias son iguales por compartir la misma letra con las que se agrupan (A), por lo tanto no existió diferencia significativa en la dureza con respecto a las concentraciones usadas. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones utilizadas es de 99.25%.

**Tabla 16 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGm sin reposo contra 1848 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico**

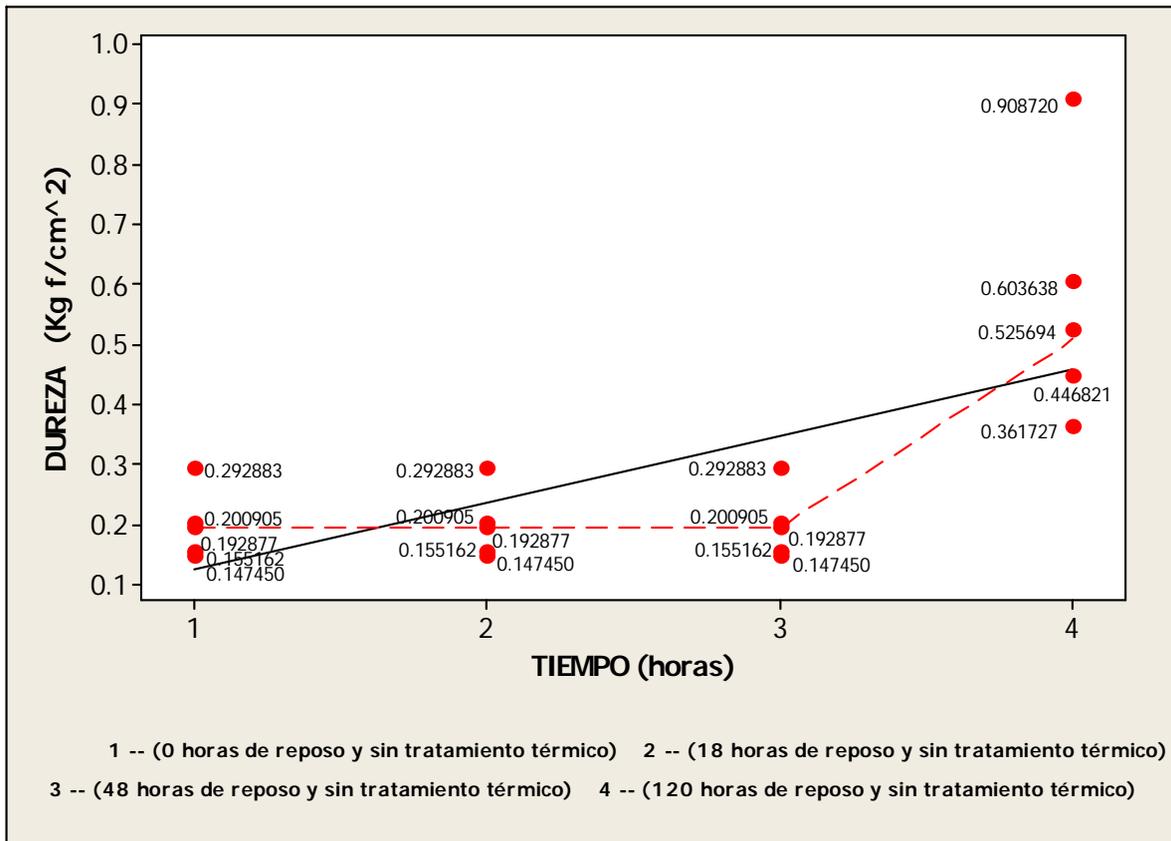
Concentración	Media	Desviación estándar	Agrupación
0.1000	0.3718	0.3579	A
0	0.3101	0.0344	A
0.0500	0.3016	0.2014	A
0.3000	0.2420	0.1891	A
0.0065	0.2281	0.1458	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se afirma estadísticamente que en la dureza de medallones de pavo sin reposo contra 18,48 y 120 h de reposo, sin tratamiento térmico, existe diferencia significativa respecto al tiempo de reposo; pero respecto a las concentraciones de 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; por lo que la dureza de los medallones de pavo de 0, 18, 48 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, depende del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas.

En la Figura 22, los datos de la dureza de medallones sin tratamiento térmico, presentan una tendencia constante con respecto al tiempo de reposo entre medallones; no obstante, lo que indica la recta de dispersión (línea punteada), es que cuando no se le dio tratamiento térmico al medallón elaborado para activar la enzima TGm, tardó mayor tiempo en actuar la enzima en las proteínas de la carne, debido a que los medallones no se encontraban en condiciones óptimas de temperatura para que la enzima realizara con mayor rapidez la formación de enlaces entre las proteínas de la carne; la tendencia de dicha recta, refleja un aumento a las 120 h de reposo respecto a la tendencia de 0, 18 y 48 h de reposo, lo que indica que cuando no se le da tratamiento térmico a los medallones, la estabilidad en la dureza promedio, se alcanza hasta las 120 h de reposo; basándose en las durezas de medallones que si se trataron térmicamente.

Probablemente, la dureza de los medallones de pavo se mantiene constante a las 0, 18 y 48 h de reposo cuando no se da tratamiento térmico, debido a que como mencionan Uresti *et al.*, 2006, que la falta de tratamiento térmico, provoca que se lleve a cabo una baja intensidad en la desnaturalización de las proteínas lo que no permite a la enzima obtener suficiente sustrato para catalizar las reacciones de unión entre proteínas a la misma velocidad con lo que lo hace cuando se le da tratamiento térmico a los medallones.

Esto se puede comparar con el reestructurado de surimi, conforme a lo que reportan Kim *et al.*, 2004, que en las muestras de reestructurado de surimi sin tratamiento térmico, la dureza fue incrementándose de forma lineal y significativa con el tiempo de almacenamiento. Este incremento lineal de los valores de dureza en las muestras sin tratamiento térmico se debe por una parte a la actividad residual de la TGm y por otra a la capacidad de gelificar las proteínas miofibrilares, además toman en cuenta que, durante el periodo de almacenamiento en refrigeración, se establecen enlaces que en parte son responsables del aumento en la dureza del reestructurado. Por lo que gráficamente se observa que en medallones de pavo sin tratamiento térmico se produce una mayor dureza a las 120 h de reposo; aunque estadísticamente la dureza en medallones de pavo sin tratamiento térmico, depende del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas; por lo que se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar, que corresponde a 0.0065% TGm, debido a que estadísticamente estos son los medallones sin tratamiento térmico que presentaron menor dureza con una media de 0.2281 kg f/cm<sup>2</sup>.



**Figura 22 Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo (0 18 48 y 120 h) y sin tratamiento térmico con y sin TGm**

Los resultados de sinéresis, obtenidos de los lotes con reposo y con tratamiento térmico a las 18, 48 y 120 h con y sin TGm se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17 Resultados de sinéresis de medallones de pavo en los lotes con reposo y con tratamiento térmico a las 18 48 y 120 h con y sin TGm**

TIEMPO DE REPOSO (h)	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.0065 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.05 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.1 %TGm	SINÉRESIS (% W perdido) PARA 0.3 %TGm
18 →(CR y CTT)	3.3944	2.5856	2.3784	2.7782	3.4472
48 →(CR y CTT)	2.4147	2.2477	1.8277	1.9258	2.4830
120 →(CR y CTT)	3.2943	3.4490	5.0631	4.4929	4.8519
CR → Con Tiempo de Reposo      CTT → Con Tratamiento Térmico					

**SINÉRESIS contra TIEMPO CONCENTRACIÓN 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico (Tabla 18)**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto al tiempo de reposo y las concentraciones de TGm, en medallones reestructurados de pavo, con respecto de tiempos de reposo de 18,48 y 120 h con tratamiento térmico.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto del tiempo de reposo y las concentraciones de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de tiempos de reposo de 18,48 y 120 h con tratamiento térmico.

**Tabla 18 ANOVA de dos vías de los resultados de sinéresis de medallones de pavo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	2	10.7879	5.39396	15.35	<b><u>0.002</u></b>
Con respecto a la concentración	4	1.0930	0.27325	0.78	<b><u>0.570</u></b>
Error	8	2.8108	0.35136		
Total	14	14.6918			

La probabilidad de que el tiempo y la concentración afecten en la sinéresis de los medallones reestructurados, resultó con respecto al tiempo  $p=0.002$ ; y con respecto a la concentración  $p=0.570$ , a partir de lo cual se puede decir que la hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta con respecto al tiempo por ser menor a 0.05, lo que indica que existió diferencia significativa en la sinéresis con respecto al tiempo, y se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) con respecto a las concentraciones, en tanto que para las diversas concentraciones empleadas no se encontró diferencia significativa en relación con la sinéresis.

La Tabla 19 muestra que las medias de los porcentajes de sinéresis a las 18 y 48 h de reposo con tratamiento térmico comparten una letra con las que se agrupan (B), pero a las 120 h se agrupa con la letra (A), por lo que estadísticamente la sinéresis con respecto al tiempo de reposo es significativamente diferente; con una media de 2.9168% de sinéresis para 18 h, 2.1798 % de sinéresis para 48 h y 4.2302% sinéresis para 120 h con tratamiento térmico. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 97.94%.

**Tabla 19 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al tiempo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
120 h, con tratamiento térmico	4.2302	0.8117	A
18 h, con tratamiento térmico	2.9168	0.4817	B
48 h, con tratamiento térmico	2.1798	0.2916	B

La Tabla 20 muestra que las medias de los porcentajes de sinéresis a las 18,48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico comparten la misma letra de agrupación (A), por lo que estadísticamente en la sinéresis con respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGM, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; con una media de 2.761% de sinéresis para concentración de 0.0065% de TGM. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones es de 99.18%.

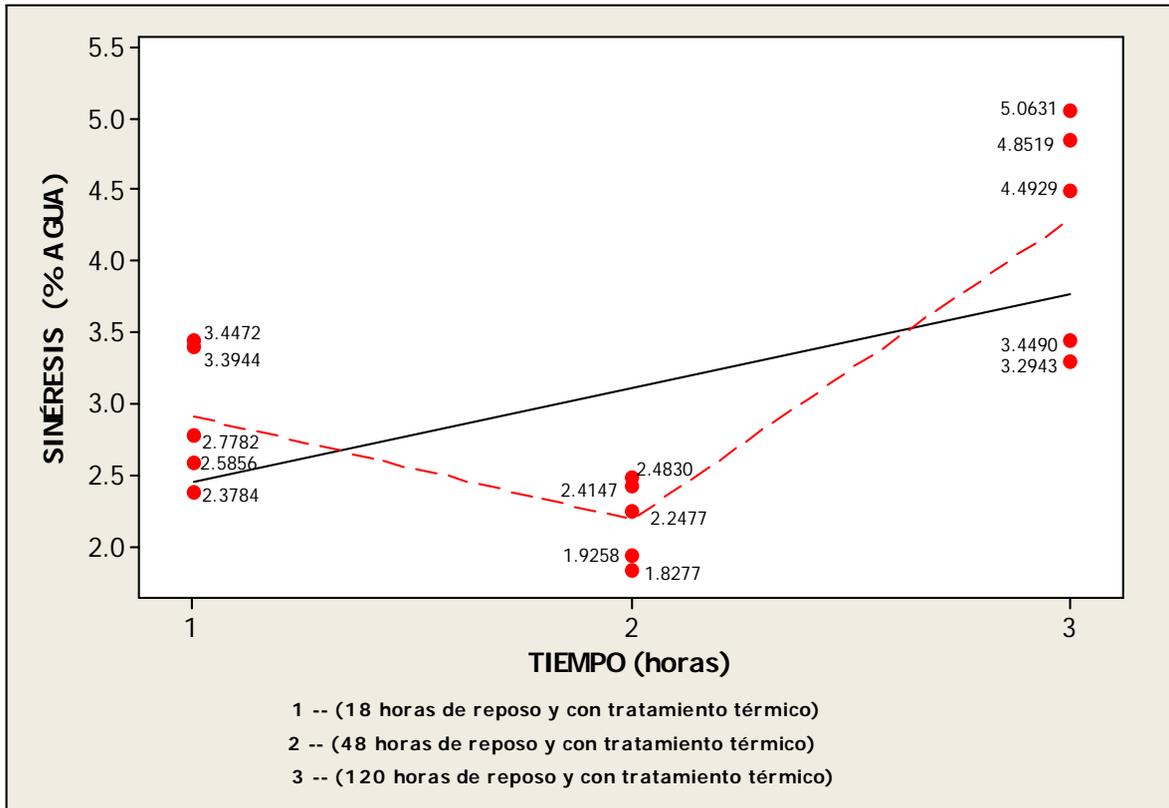
**Tabla 20 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al % de TGM con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico**

Concentración	Media	Desviación estándar	Agrupación
0.1000	3.594	1.191	A
0.3000	3.090	1.731	A
0.0500	3.066	1.307	A
0	3.034	0.539	A
0.0065	2.761	0.620	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se puede afirmar estadísticamente que en la sinéresis de medallones de pavo con 18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico, existe diferencia significativa respecto al tiempo de reposo; pero respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGM, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; por lo que la sinéresis producida en los medallones de pavo a las 18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico, está en función del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas.

En la Figura 23, la recta supone la trayectoria que debe de seguir el modelo, suponiendo que existe una proporcionalidad del porcentaje de sinéresis con respecto al tiempo de reposo. Pero la tendencia de la línea punteada, permite visualizar que existe menor sinéresis en los medallones de pavo con 48 h de reposo respecto de los de 18 y 120 h de reposo; el porcentaje de sinéresis en medallones con 18 y 48 h, es menor que los de 120 h de reposo, aumentando con respecto al tiempo. Debido a que como indican Restrepo *et al.*, 2010, que la sinéresis presenta diferencia en función del tratamiento térmico y tiempo de reposo del producto, aumentando dicha sinéresis con respecto al tiempo de reposo.

La posible disminución de sinéresis de las 18 h a las 48 h de reposo y posteriormente un aumento a las 120 h de reposo, se debe a que como reportan Sakamoto *et al.*, 1995, que como consecuencia de la aplicación del tratamiento térmico a los reestructurados, el establecimiento de enlaces covalentes entre las proteínas en el interior del medallón aún existe debido a una posible actividad de la TGM, por lo que a mayor tiempo de reposo se lleva a cabo un reacomodo de los enlaces formados por la enzima en las proteínas hasta que se obtiene una estabilidad de la estructura formada.



**Figura 23 Gráfica de resultados de sinéresis de medallones de pavo contra tiempo de reposo (18 48 y 120 h) y tratamiento térmico con y sin TGM**

Gráficamente, en los medallones de pavo con tratamiento térmico, se produce una menor sinéresis a las 48 h de reposo; pero estadísticamente, la sinéresis está en función del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas; por lo que se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar 0.0065% TGM, debido a que estadísticamente estos son los medallones con tratamiento térmico que presentaron menor sinéresis con una media de 2.761% de sinéresis.

En la Tabla 21 se presentan los resultados de la dureza de los medallones de pavo sometidos a diferentes tiempos de reposo, con y sin TGM y tratamiento térmico.

**Tabla 21 Resultados de la medición de dureza de medallones de pavo en los lotes con reposo con tratamiento térmico y TGm**

TIEMPO DE REPOSO (h)	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.0065 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.05 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.1 %TGm	DUREZA (kg f/cm <sup>2</sup> ) PARA 0.3 %TGm
18 →(CR y CTT)	0.546555	0.259131	0.471303	0.332615	0.290034
48 →(CR y CTT)	0.319700	0.304315	0.315076	0.378119	0.340691
120 →(CR y CTT)	0.453997	0.333865	0.353709	0.241886	0.304301
CR → Con Tiempo de Reposo      CTT→ Con Tratamiento Térmico					

Aunque la dureza se debe a que la reestructuración se llevó a cabo con una menor velocidad de reacción, este hecho se vio reflejado en un mayor desprendimiento de agua, al no ser retenida por las estructuras de los enlaces formados por la TGm a diferencia de cuando es activada térmicamente.

**DUREZA contra TIEMPO CONCENTRACIÓN 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico (Tabla 22).**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de tiempos de reposo de 18,48 y 120 h con tratamiento térmico.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de tiempos de reposo de 18,48 y 120 h con tratamiento térmico.

**Tabla 22 ANOVA de dos vías para dureza de medallones de pavo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	2	0.0069481	0.0034740	0.60	<b><u>0.571</u></b>
Con respecto a la concentración	4	0.0423878	0.0105969	1.84	<b><u>0.215</u></b>
Error	8	0.0461350	0.0057669		
Total	14	0.0954709			

La probabilidad de que el tiempo de reposo y la concentración afecten en la dureza de los medallones reestructurados, resultó ser mayor de 0.05, siendo con respecto al tiempo de reposo  $p=0.571$ ; y con respecto a la concentración  $p=0.215$ , por lo que la hipótesis alterna (H1) se descarta, y se acepta la hipótesis nula (Ho), y que para este caso no existió diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y las concentraciones de TGm manejados en los medallones reestructurados.

La Tabla 23 muestra que los medallones con tiempo de reposo de 18, 48 y 120 h y con tratamiento térmico comparten la misma letra con la que se agrupan (A), aunque la menor dureza para este caso corresponde a la media de los medallones con 48 h de reposo siendo de  $0.33158 \text{ kg f/cm}^2$ , pero estadísticamente no existe diferencia significativa en la dureza de medallones de pavo con respecto al tiempo de reposo. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 97.94%

**Tabla 23 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
18 h, con tratamiento térmico	0.37993	0.12352	A
120 h, con tratamiento térmico	0.33755	0.07761	A
48 h, con tratamiento térmico	0.33158	0.02918	A

La Tabla 24 muestra que la concentración que presenta menor dureza para estos medallones es la concentración de 0.0065% TGm, con una media de  $0.29910 \text{ kg f/cm}^2$ ; aunque estadísticamente todas las medias son iguales por compartir la misma letra con las que se agrupan (A), por lo tanto no existe diferencia significativa en la dureza con respecto a las concentraciones utilizadas. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones utilizadas es de 99.18%.

**Tabla 24 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGm con 18 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico**

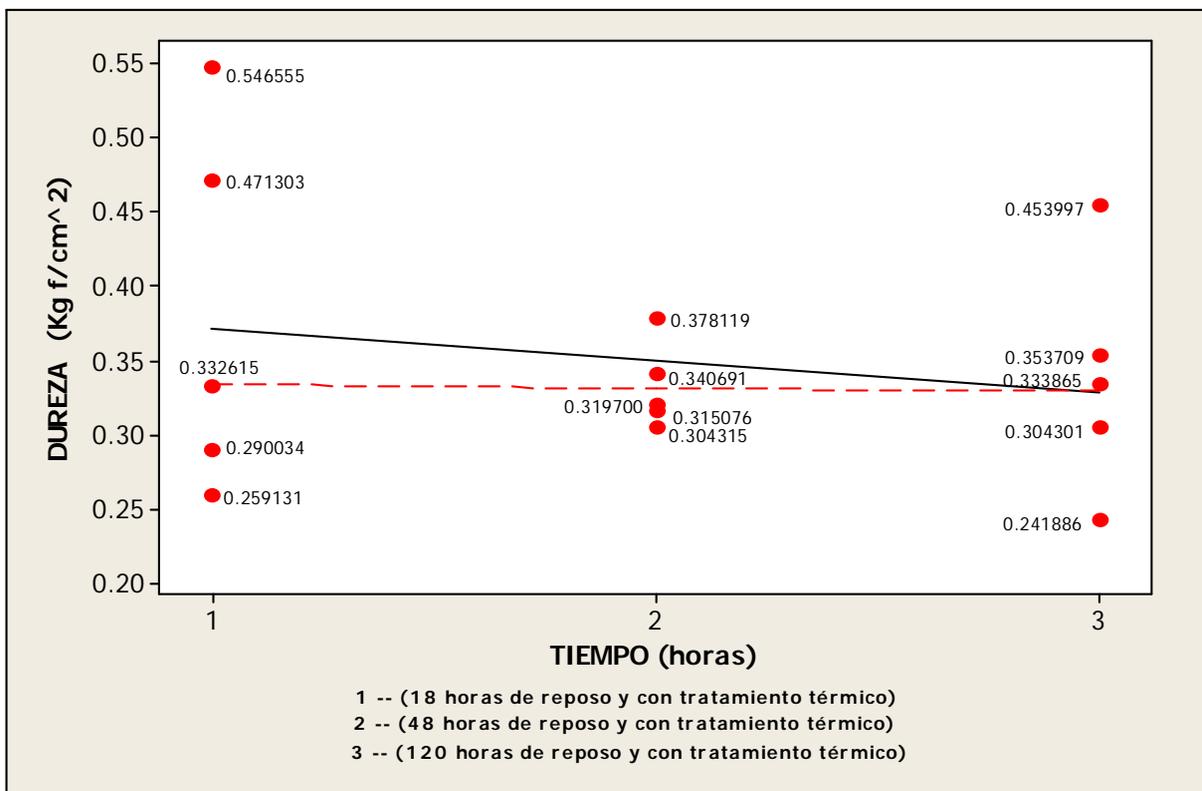
Concentración	Media	Desviación estándar	Agrupación
<b>0</b>	0.44008	0.11407	A
<b>0.3000</b>	0.38003	0.08137	A
<b>0.0500</b>	0.31754	0.06936	A
<b>0.1000</b>	0.31168	0.02612	A
<b>0.0065</b>	0.29910	0.03764	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se afirma estadísticamente que en la dureza de medallones de pavo con 18,48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico, no existe diferencia significativa respecto al tiempo de reposo; así como también respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en los medallones no existió diferencia significativa; por lo que la dureza de los medallones de pavo de 18, 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico, es independiente del tiempo de reposo y de las concentraciones utilizadas.

En la Figura 24, se observa que es casi perpendicular la línea de la dispersión de matriz, que indica que cuando se le da tratamiento térmico a los medallones elaborados y tiempo de reposo por 18, 48 y 120 h, la dureza se mantuvo constante. Aunque los valores de la dureza en la gráfica, se encuentran más dispersos para el caso de 18 y 120 h de reposo, con respecto de los valores de dureza con tiempo de reposo de 48 h; al comparar los valores de dureza con tiempo de reposo de 18 h con los de tiempo de reposo de 120 h, se observa una disminución mínima, lo que permite suponer que en el transcurso del reposo, adquiere estabilidad la estructura del medallón elaborado con TGm. No obstante se puede indicar que no se encontró diferencia significativa con el tiempo de reposo y las diferentes concentraciones adicionadas a los medallones.

Según Heremans *et al.*, 1997, al aplicar un tratamiento térmico se obtienen estructuras más fuertes, debido a que como consecuencia del tratamiento térmico, las proteínas se despliegan permitiendo una mayor interacción proteína-proteína en la formación de la red proteica, lo que constituye al establecimiento de enlaces entre las proteínas y una estructura con más estabilidad.

Por lo que gráficamente se observa que en medallones de pavo con tratamiento térmico se produce una mayor dureza a las 18 h de reposo debido a que como mencionan Sakamoto *et al.*, 1995, que como consecuencia de la aplicación del tratamiento térmico, el establecimiento de enlaces entre las proteínas en el interior del medallón, aún existe debido a una posible actividad de la TGm, por lo que existe un reacomodo de los enlaces formados por la enzima en las proteínas hasta que se obtiene una estabilidad de la estructura formada.; aunque estadísticamente la dureza en estos medallones con 18, 48 y 120 h de reposo, no depende del tiempo de reposo ni de las concentraciones utilizadas; se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar, que corresponde a 0.0065%TGm, debido a que estadísticamente estos son los medallones con tratamiento térmico que presentaron menor dureza con una media de 0.29910 kg f/cm<sup>2</sup>.



**Figura 24 Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo (18 48 y 120 h) y tratamiento térmico con y sin TGm**

**DUREZA contra TIEMPO CONCENTRACION 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico (Tabla 25)**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados.

La probabilidad de que el tiempo y la concentración afecten en la dureza de los medallones reestructurados, resultó ser menor de 0.05 con respecto al tiempo  $p=0.004$ ; pero mayor con respecto a la concentración  $p=0.678$ , por lo que se concluye que la hipótesis alterna (H1) se acepta respecto al tiempo de reposo, y la hipótesis nula (Ho) se acepta con respecto a la concentración de TGm manejados en los medallones reestructurados, indicando que existe diferencia significativa en la dureza de los medallones reestructurados con respecto del tiempo de reposo, pero no con respecto de la concentración de TGm manejados.

**Tabla 25 ANOVA de dos vías para dureza de medallones de pavo con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	4	0.358809	0.0897022	5.91	<b><u>0.004</u></b>
Con respecto a la concentración	4	0.035537	0.0088842	0.59	<b><u>0.678</u></b>
Error	16	0.242788	0.0151743		
Total	24	0.637133			

La Tabla 26 muestra que los medallones con tiempo de reposo de 18 h con tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico comparten la letra de agrupación (A) y los medallones de 0 h sin tratamiento térmico con los de 18, 48 y 120 h de reposo y tratamiento térmico comparten la letra de agrupación (B), aunque los medallones de 18 h de reposo con tratamiento térmico comparten ambos grupos (A y B), los niveles de los factores dentro de un grupo no son significativamente diferentes uno del otro. Por lo tanto los medallones de 18 h de reposo con tratamiento térmico son en los que

estadísticamente no existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo con una media de dureza de 0.3799 kg f/cm<sup>2</sup>; pero de manera global en las medias respecto a la agrupación, si existe diferencia significativa en la dureza de medallones de pavo con respecto al tiempo de reposo. Los medallones que presentan menor dureza, con una media de 0.1979 kg f/cm<sup>2</sup>; son los de 0 h de reposo, sin tratamiento térmico. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 99.28%.

**Tabla 26 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
120 h, sin tratamiento térmico	0.5693	0.2100	A
18 h, con tratamiento térmico	0.3799	0.1235	A B
120 h, con tratamiento térmico	0.3376	0.0776	B
48 h, con tratamiento térmico	0.3316	0.0292	B
0 h, sin tratamiento térmico	0.1979	0.0579	B

La Tabla 27 muestra que la concentración que presenta menor dureza con una media de 0.2999 kg f/cm<sup>2</sup> es la concentración de 0.0065% de TGm; aunque estadísticamente todas las medias son iguales debido a que comparten la misma letra con las que se agrupan (A), por lo tanto no existe diferencia significativa en la dureza con respecto a las concentraciones utilizadas. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones utilizadas es de 99.28%.

**Tabla 27 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGm con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico**

Concentración	Media	Desviación estándar	Agrupación
0.1000	0.4073	0.2856	A
0	0.3950	0.1045	A
0.3000	0.3626	0.1475	A
0.0500	0.3514	0.1576	A
0.0065	0.2999	0.1065	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se afirma estadísticamente que en la dureza de medallones de pavo con 0 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, así como los de 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico, si existe diferencia significativa respecto al tiempo de reposo. Aunque para los medallones de 18 h de reposo con tratamiento térmico no existe diferencia significativa.

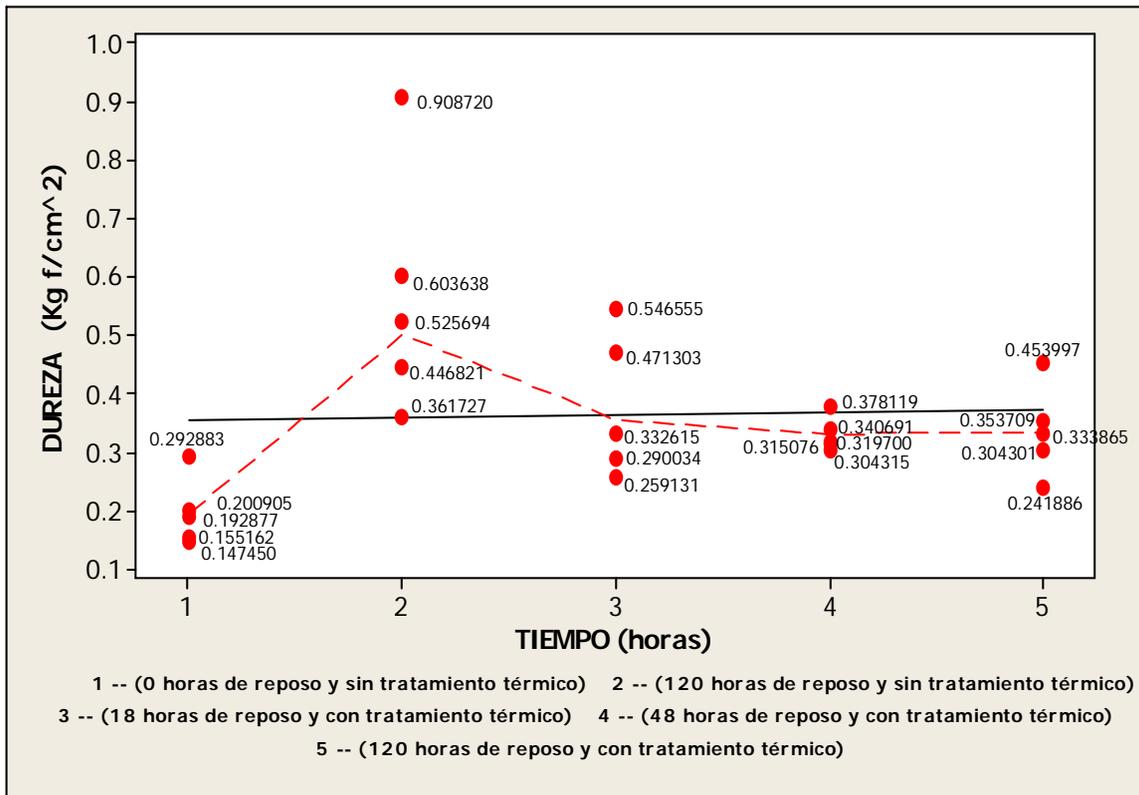
Respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en los medallones no existió diferencia significativa; por lo que la dureza de los medallones de pavo de 0 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, así como los de 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico, está en función del tiempo de reposo, pero no de las concentraciones utilizadas; y en los medallones de 18 h de reposo con tratamiento térmico, la dureza es independiente del tiempo de reposo y de las concentraciones utilizadas.

En la Figura 25, los datos con mayor desviación respecto al tiempo, son los de medallones evaluados a las 120 h de reposo pero que no llevan tratamiento térmico. Para los medallones que tampoco llevan tratamiento térmico pero evaluados después de su elaboración (0 h de reposo), reflejan una menor dureza, debido a que la enzima TGm no ha realizado aún su función al interior de la estructura de las proteínas de la carne; y se requiere de mayor tiempo de reposo para que la enzima efectúe su función de unir las proteínas cárnicas, para presentar una similitud de dureza entre los demás datos analizados y con diferentes tiempos de reposo.

Basándose en lo que mencionan Uresti *et al.*, 2003, en su estudio de reestructuración con geles de carne de res, que el aumento en la dureza, muestra que la enzima incrementa los enlaces entre las proteínas cárnicas Carballo *et al.*, 2005, informan que la actividad residual de la TGm después de un determinado tiempo de reposo, puede generar reacciones de unión adicionales, incrementando la unión de las partículas de carne, dando como resultado en la evaluación textural un aumento en la dureza del producto reestructurado; mencionan que la TGm puede utilizarse en la reestructuración de productos cárnicos crudos refrigerados sin la adición de sal, pero que se necesitan largos periodos de tiempo de reposo para obtener resultados.

La línea punteada representa la tendencia media de la dispersión en la matriz de los datos, reflejando que existió mayor linealidad entre los datos de los medallones que llevaron una activación de la enzima TGm, ya que lo que se esperaba encontrar para este análisis era una proporcionalidad entre la dureza, tiempo de reposo y concentraciones utilizadas con determinada activación de la TGm (con o sin tratamiento térmico), además de analizar su comportamiento en la tendencia de la gráfica.

Gráficamente se observa que los medallones de pavo que tienen una mayor dureza fueron los de 120 h de reposo sin tratamiento térmico; aunque estadísticamente la dureza en medallones de pavo de 0 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, así como los de 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico, dependen del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas; y en los medallones de 18 h de reposo con tratamiento térmico, la dureza es independiente de las concentraciones y de los tiempos de reposo manejados por lo que se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar, que corresponde a 0.0065% TGm, debido a que estadísticamente estos son los medallones que presentaron menor dureza con una media de 0.2999 kg f/cm<sup>2</sup>.



**Figura 25 Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo con 0 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico con y sin TGm**

**SINÉRESIS contra TIEMPO CONCENTRACION 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico (Tabla 28)**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGM, manejados en medallones de pavo reestructurados.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGM, manejados en medallones de pavo reestructurados.

La probabilidad de que el tiempo y la concentración afecten en la sinéresis de los medallones reestructurados, fue con respecto al tiempo  $p=0.016$ ; y con respecto a la concentración  $p=0.557$ . Por lo que se concluye que la hipótesis alterna (H1) se acepta con respecto al tiempo por ser menor a 0.05, indicando que existe diferencia significativa de la sinéresis con respecto al tiempo, y se acepta la hipótesis nula (Ho) con respecto a las concentraciones, por lo que para el caso de concentraciones no existe diferencia significativa en la sinéresis.

**Tabla 28 ANOVA de dos vías para sinéresis de medallones de pavo con 18 48 y 120h de reposo con y sin tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	5	20.3559	4.07117	3.67	<b><u>0.016</u></b>
Con respecto a la concentración	4	3.4193	0.85484	0.77	<b><u>0.557</u></b>
Error	20	22.1642	1.10821		
Total	29	45.9394			

La Tabla 29 muestra que los medallones con tiempo de reposo de 18 h con y sin tratamiento térmico, 48 h sin tratamiento térmico y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico comparten la letra de agrupación (A); y los medallones de 18 y 48 h con y sin tratamiento térmico, así como los de 120 h de reposo sin tratamiento térmico comparten la letra de agrupación (B), pero los medallones de 18 h de reposo con y sin tratamiento térmico, 48 h de reposo sin tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico comparten ambos grupos (A y B). Por lo tanto los medallones que comparten ambos grupos (A y B) son en los que estadísticamente no existe diferencia significativa en la sinéresis con respecto del tiempo de reposo; pero para 48 y 120 h de reposo, ambos con

tratamiento térmico, si existe diferencia significativa en la sinéresis de medallones de pavo con respecto al tiempo de reposo. Los medallones que presentan menor sinéresis, con una media de 2.180% sinéresis; son los de 48 h de reposo, con tratamiento térmico. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 99.50%.

**Tabla 29 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al tiempo con 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
120 h, con tratamiento térmico	4.230	0.812	A
120 h, sin tratamiento térmico	3.951	1.886	A B
48 h, sin tratamiento térmico	3.925	1.063	A B
18 h, con tratamiento térmico	2.917	0.482	A B
18 h, sin tratamiento térmico	2.298	0.856	A B
48 h, con tratamiento térmico	2.180	0.292	B

La Tabla 30 muestra que las medias de los porcentajes de sinéresis a las 18,48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico comparten la misma letra de agrupación (A), por lo que estadísticamente en la sinéresis con respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; con una media de 2.707% de sinéresis para concentración de 0.0065% de TGm. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones es de 99.29%

**Tabla 30 Prueba de Tukey de los resultados de sinéresis respecto al % de TGm con 18 48 y 120 h de reposo con y sin tratamiento térmico**

Concentración	Media	Desviación estándar	Agrupación
0.1000	3.627	1.378	A
0.0500	3.586	1.142	A
0.3000	3.220	1.852	A
0	3.111	1.092	A
0.0065	2.707	0.824	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se puede afirmar estadísticamente que en la sinéresis de medallones de pavo de 18 h de reposo con y sin tratamiento térmico, 48 h de reposo sin tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, no existe diferencia significativa, respecto del tiempo de reposo; pero en medallones de 48 y 120 h de reposo, ambos con tratamiento térmico, si existe diferencia significativa. Respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; por lo que en los medallones de pavo de 18 h de reposo con y sin tratamiento térmico, 48 h de reposo sin tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, la sinéresis producida es independiente del tiempo de reposo y de las concentraciones utilizadas. Para medallones de 48 y 120 h de reposo, ambos con tratamiento térmico, la sinéresis está en función del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas.

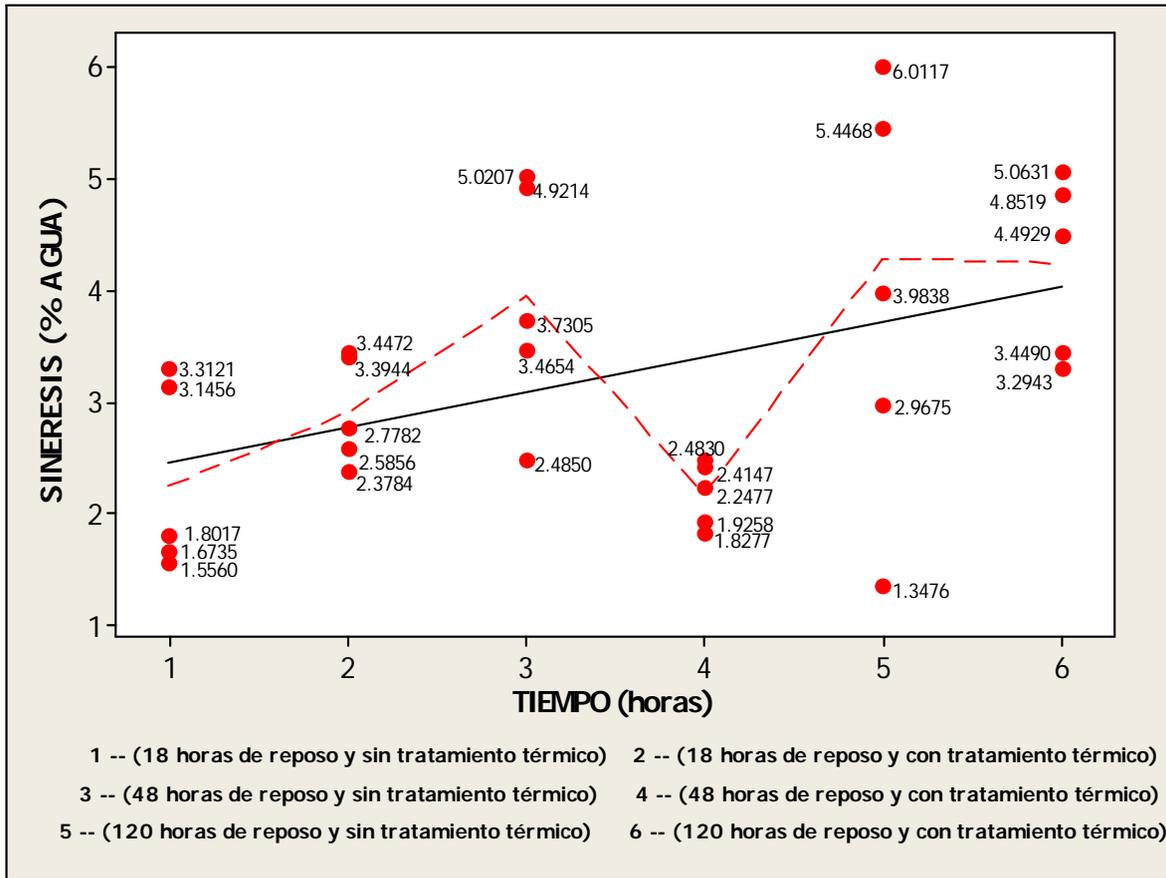
En la Figura 26, los datos del porcentaje de sinéresis, presentaron una tendencia próxima a la linealidad, pero los datos correspondientes a los medallones que tuvieron un tiempo de reposo de 48 h y se les dio tratamiento térmico, no se encontraron dentro de esa tendencia, posiblemente como afirman Han *et al.*, 2009, que, como consecuencia de la formación de la red proteica debida a la acción de la TGm, las moléculas de agua pierden movilidad quedando en mayor o menor proporción retenidas en dicha red de acuerdo al nivel de concentración manejado, aunque de acuerdo con esta gráfica los medallones de 48 h con tratamiento térmico son los que tuvieron menor sinéresis, que es lo que se está buscando al analizar el comportamiento de la enzima TGm con los diferentes tiempos de reposo a las concentraciones utilizadas y con o sin tratamiento térmico.

Además de que en esta gráfica, se analizan los datos en pares para los tiempos de reposo, 18, 48 y 120 h de reposo, cada uno con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico. Analizando los datos de los medallones para cada tiempo, con respecto a si tuvo tratamiento térmico o no, se observa que con tratamiento térmico la localización de los valores de porcentaje de sinéresis se encuentran más cercanos entre ellos para cada tiempo de reposo, y con los que no tuvieron tratamiento térmico ocurre lo contrario, existiendo una mayor dispersión entre los valores del porcentaje de sinéresis para cada tiempo de reposo. La distribución media de la matriz, denotada por la línea punteada, muestra que para las 48 y 120 h de reposo, pero sin tratamiento térmico, fueron los

valores que presentaron el mayor porcentaje de sinéresis, seguido de los que tuvieron 120 h de reposo pero con tratamiento térmico.

Gráficamente, en los medallones de pavo en los que se produce una menor sinéresis es en los casos que tienen tratamiento térmico, destacando la menor sinéresis a las 48 h de reposo con tratamiento térmico; pero estadísticamente en los medallones de 18 h de reposo con y sin tratamiento térmico, 48 h de reposo sin tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, no existió diferencia significativa con respecto al tiempo de reposo; en medallones de 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico si existió diferencia significativa respecto al tiempo de reposo. Respecto a las concentraciones utilizadas, no existió diferencia significativa; por lo que en los medallones de pavo de 18 h de reposo con y sin tratamiento térmico, 48 h de reposo sin tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, la sinéresis producida es independiente del tiempo de reposo y de las concentraciones utilizadas. Para medallones de 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico, la sinéresis está en función del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas.

Por lo que se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar 0.0065%TGm, debido a que estadísticamente estos son los medallones con tratamiento térmico que presentaron menor sinéresis con una media de 2.707% de sinéresis.



**Figura 26 Gráfica de resultados de sinéresis de medallones de pavo contra tiempo de reposo y tratamiento térmico a las 18 48 y 120 h con y sin tratamiento térmico con y sin TGm**

**DUREZA contra TIEMPO CONCENTRACION Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico(Tabla 31)**

**Ho:** No existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de un lote sin tiempo de reposo y un lote con 48 h de reposo sin tratamiento térmico.

**H1:** Si existe diferencia significativa en la dureza con respecto del tiempo de reposo y la concentración de TGm, manejados en medallones de pavo reestructurados, con respecto de un lote sin tiempo de reposo y un lote con 48 h de reposo sin tratamiento térmico.

**Tabla 31 ANOVA de dos vías para dureza de medallones de pavo sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad
Con respecto al tiempo	1	0.344965	0.344965	12.68	<b>0.024</b>
Con respecto a la concentración	4	0.081018	0.020254	0.74	<b>0.609</b>
Error	4	0.108784	0.027196		
Total	9	0.534767			

La probabilidad de que el tiempo y la concentración afecten en la dureza de los medallones reestructurados, fue menor de 0.05 con respecto al tiempo de reposo  $p=0.024$ ; pero mayor con respecto a la concentración  $p=0.609$ , por lo que se concluye que la hipótesis alterna (H1) se acepta respecto al tiempo de reposo, y la hipótesis nula (Ho) se acepta con respecto a la concentración de TGm manejados en los medallones reestructurados, indicando que existe diferencia significativa en la dureza de los medallones reestructurados con respecto del tiempo de reposo, pero no con respecto de la concentración de TGm manejados.

La Tabla 32 muestra que estadísticamente las medias no comparten una letra con las que se agrupan (A, B), por lo que la dureza con respecto al tiempo de reposo es significativamente diferente; con una media de  $0.5693 \text{ kg f/cm}^2$  para 48 h, sin tratamiento térmico y  $0.1979 \text{ kg f/cm}^2$  para 0 h, sin tratamiento térmico

El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de tiempo de reposo es de 95%

**Tabla 32 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al tiempo sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico**

Tiempo de reposo	Media	Desviación estándar	Agrupación
48 h, sin tratamiento térmico	0.5693	0.2100	A
0 h, sin tratamiento térmico	0.1979	0.0579	B

La Tabla 33 muestra que la concentración que presenta la menor dureza para medallones sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico es la concentración de 0.0065% TGm, con una dureza media de 0.3010 kg f/cm<sup>2</sup>; aunque estadísticamente todas las medias comparten la misma letra con las que se agrupan, en la dureza con respecto a las concentraciones utilizadas, no existe diferencia significativa. El nivel de confianza con el que se obtienen las comparaciones entre los niveles de concentraciones utilizadas es de 99.98%.

**Tabla 33 Prueba de Tukey de los resultados de dureza respecto al % de TGm sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico**

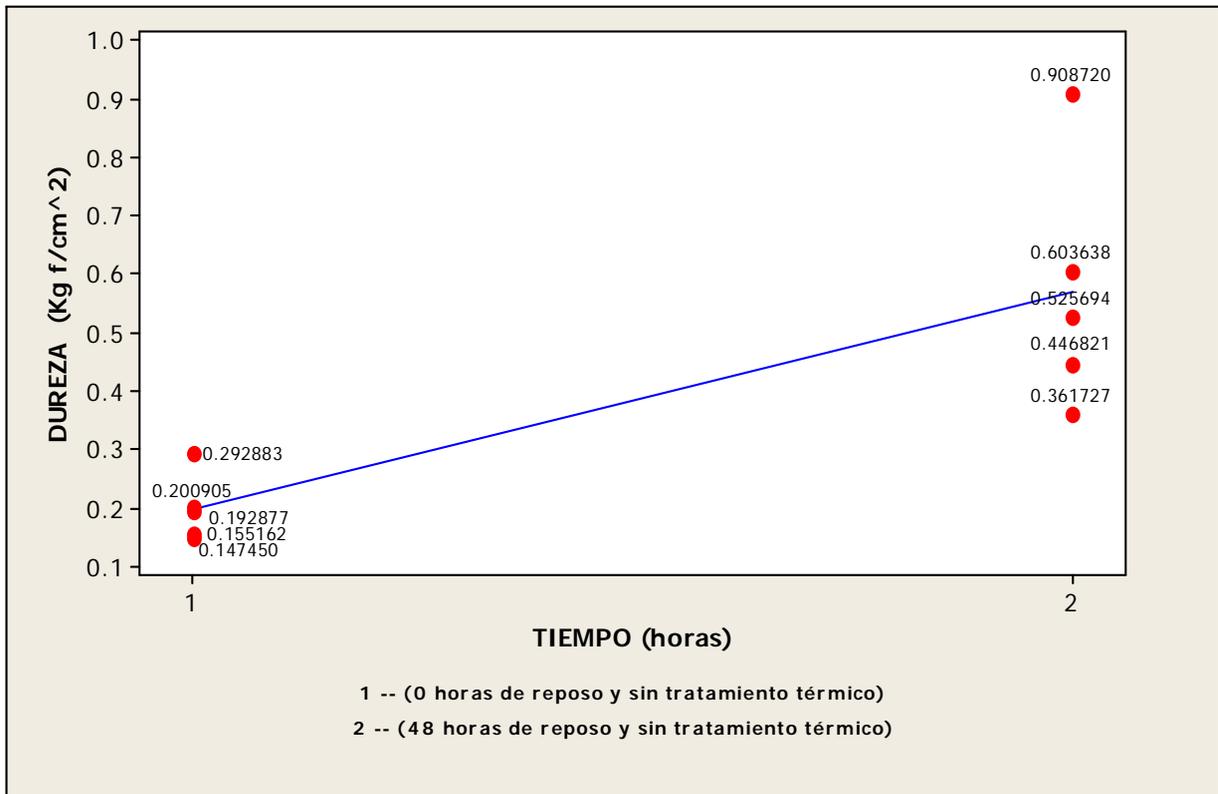
Concentración	Media	Desviación estándar	Agrupación
0.1000	0.5508	0.5062	A
0.0500	0.4023	0.2848	A
0.3000	0.3366	0.2675	A
0	0.3273	0.0487	A
0.0065	0.3010	0.2062	A

Una vez realizada la prueba de Tukey se puede afirmar estadísticamente que en la dureza de medallones de pavo sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico, existe diferencia significativa con respecto al tiempo de reposo; pero respecto a las concentraciones 0, 0.0065, 0.05, 0.1 y 0.3% de TGm, manejados en medallones de pavo no existió diferencia significativa; por lo que la dureza producida en los medallones de pavo a las 0 y 48 h de reposo sin tratamiento térmico, está en función del tiempo de reposo pero no respecto de las concentraciones utilizadas.

En la Figura 27, se observa que para medallones elaborados sin tratamiento térmico y para tiempos de 0 y 48 h de reposo, están agrupados con mayor cercanía entre sí los valores de la dureza evaluada en los medallones sin reposo, comparados con los de 48 h de reposo con una mayor tendencia a la dispersión entre ellos; lo que indica que aunque sí influye la enzima TGm, en la dureza del medallón, se requiere de un tiempo de reposo para que se establezca la estructura formada que reflejará un mayor valor de dicho parámetro (dureza); aunque Soto *et al.*, 2010 y Cofrades *et al.*, 2006, mencionan que la adición de TGm para reestructurar aumenta las propiedades de textura de los geles cárnicos y de carne de músculo de ternera, respecto al tiempo de reposo en refrigeración.

La estabilidad de los medallones de pavo tardó más en alcanzarse para los casos en que no se activó térmicamente la enzima TGm, cuya acción de acuerdo a la prueba de Tukey, está en función del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas.

Por lo que gráficamente se observa que en medallones de pavo con tiempos de reposo 0 y 48 h sin tratamiento térmico, se produce una mayor dureza a las 48 h de reposo; aunque estadísticamente la dureza de estos medallones depende del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas; por lo que se recomienda emplear la mínima concentración de enzima para reestructurar, que corresponde a 0.0065% TGm, debido a que estadísticamente estos son los medallones que presentaron menor dureza con una media de 0.3010 kg f/cm<sup>2</sup>.



**Figura 27 Gráfica de resultados de dureza de medallones de pavo contra tiempo de reposo y sin tratamiento térmico a las 0 y 48 h con y sin TGm**

Los resultados de las pruebas de hipótesis del análisis estadístico ANOVA de dos vías y de TUKEY, se resumen en la Tabla 34.

**Tabla 34 Resultados de las pruebas de hipótesis de medallones de pavo**

	ANOVA		PRUEBA DE TUKEY	
	Hipótesis nula (H <sub>0</sub> ): No existe diferencia significativa	Hipótesis alterna (H <sub>1</sub> ): Si existe diferencia significativa	Hipótesis nula (H <sub>0</sub> ): No existe diferencia Significativa	Hipótesis alterna (H <sub>1</sub> ): Si existe diferencia significativa
SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN Sin reposo contra 18,48 y 120 h de reposo y sin tratamiento térmico.	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo
SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.	Con respecto al tiempo y las concentraciones		Con respecto al tiempo y las concentraciones	
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 0, 18, 48 y 120 h de reposo, con y sin tratamiento térmico	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo, excepto para los de 18 h de reposo con tratamiento térmico
SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 0, 18, 48 y 120 h de reposo, con y sin tratamiento térmico.	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo	Con respecto a los tiempos de reposo 18, 48 y 120 h sin tratamiento térmico y 18 h con tratamiento térmico	Con respecto a los tiempos de reposo 48 y 120 h con tratamiento térmico
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo	Con respecto a las concentraciones	Con respecto al tiempo de reposo

En términos generales con ayuda de los análisis estadísticos ANOVA de dos vías, se afirma que la dureza de los reestructurados de pavo tipo medallón, difirió significativamente con respecto al tiempo de reposo (0,18,48 y 120 h), pero no difirió significativamente con las concentraciones utilizadas (0%, 0.0065%, 0.05%, 0.1% y 0.3% de TGm); ya sea con tratamiento térmico (55°C por 30 minutos) o sin tratamiento térmico, lo que permite afirmar que se debe manejar en el reestructurado de carne de pavo, la mínima concentración de TGm a la que se reestructuro el medallón con resultados óptimos y que están dentro de los límites permitidos por las normas (0.0065% o 65 partes por millón – USDA).

Con base en los resultados del análisis entre los valores obtenidos de las variables sinéresis y tiempo de reposo es posible señalar que las concentraciones de TGm adicionales no influyeron en la sinéresis, en tanto que el tiempo de reposo sí tuvo un efecto, por lo que la sinéresis producida en el reestructurado dependerá del tiempo de reposo del mismo.

En las concentraciones utilizadas y los tiempos de reposo, aunque es mínima la variación entre dichos parámetros, existe una proporcionalidad en la dureza; debido a que a mayor concentración con respecto al tiempo de reposo, existe una mayor dureza aparentemente, como mencionan Kim *et al.*, 2004, que la dureza incrementa de forma lineal respecto al tiempo de reposo; además toman en cuenta que durante el periodo de reposo en refrigeración, se establecen enlaces que en parte son responsables del aumento en la dureza del reestructurado.

Cuando se comparan simultáneamente tiempos de reposo iguales en los reestructurados, con y sin tratamiento térmico, la sinéresis aumentó mínimamente cuando se dio tratamiento térmico, debido a la presión ejercida por el medio de calentamiento en la estructura interna del medallón, dando lugar a posibles porosidades al interior del mismo; aunque es mínima la diferencia pero es mayor cuando se somete a tratamiento térmico ó posiblemente como sustentan Han *et al.*, 2009, que como consecuencia de la formación de la red proteica debida a la acción de la TGm, las moléculas de agua pierden movilidad quedando en mayor o menor proporción retenidas en dicha red.

El empleo de la TGm da lugar a una mayor dureza y una menor sinéresis con respecto al tiempo y a las condiciones de activación de la enzima (tratamiento térmico, sin tratamiento térmico).

Cuando se hace la comparación con la prueba de TUKEY en los siguientes casos:

- SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico
- DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
Sin reposo contra 18,48 y 120 h de reposo y sin tratamiento térmico.
- SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico..
- DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.

Los resultados obtenidos estadísticamente coinciden con los de ANOVA de dos vías, ya que difirieron significativamente con respecto al tiempo de reposo (0,18, 48 y 120 h), pero no difirieron con las concentraciones utilizadas (0%, 0.0065%, 0.05%, 0.1% y 0.3% de TGm); ya sea con tratamiento térmico (55°C por 30 min) o sin tratamiento térmico. También coinciden ANOVA de dos vías y TUKEY con:

- DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.

Donde la dureza de estos medallones no depende del tiempo de reposo ni de las concentraciones utilizadas, debido a que no existió diferencia significativa respecto al tiempo de reposo (18, 48 y 120 h), ni tampoco respecto a las concentraciones utilizadas (0%, 0.0065%, 0.05%, 0.1% y 0.3% de TGm).

En los casos en que ANOVA de dos vías y TUKEY no coinciden, es en los siguientes:

- DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
0, 18, 48 y 120 h de reposo, con y sin tratamiento térmico.
- SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN  
0, 18, 48 y 120 h de reposo, con y sin tratamiento térmico.

Debido a que ANOVA de dos vías permite afirmar que ambos casos tanto para dureza y sinéresis difirieron significativamente con respecto al tiempo de reposo (0, 18, 48 y 120 h), pero no difirieron significativamente con las concentraciones utilizadas (0%, 0.0065%, 0.05%, 0.1% y 0.3% de TGm); ya sea con tratamiento térmico (55°C por 30 min) o sin tratamiento térmico.

La prueba de TUKEY permite afirmar que la dureza de los medallones de pavo de 0 y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, así como los de 48 y 120 h de reposo con tratamiento térmico, está en función del tiempo de reposo, pero no de las concentraciones utilizadas; y en los medallones de 18 h de reposo con tratamiento térmico, la dureza es independiente del tiempo de reposo y de las concentraciones utilizadas.

Para la sinéresis, TUKEY permite afirmar que en los medallones de pavo de 18 h de reposo con y sin tratamiento térmico, 48 h de reposo sin tratamiento térmico y 120 h de reposo sin tratamiento térmico, la sinéresis producida es independiente del tiempo de reposo y de las concentraciones utilizadas; aunque para medallones sometidos a 48 y 120 h de reposo, ambos con tratamiento térmico, la sinéresis está en función del tiempo de reposo pero no de las concentraciones utilizadas.

Aunque Serrano *et al.*, 2004, utilizaron una concentración al 0.7% de TGm, encontrando buenos resultados en la reestructuración de carne de res fresca con la adición de nueces; Dondero *et al.*, 2006, utilizaron diferentes niveles de adición de TGm con un mínimo de 0.1% y un máximo de 3%, encontrando los mejores resultados de textura con la adición de 0.5% de TGm y Cofrades *et al.*, 2006, mencionan que la diferencia en la gelificación de las proteínas con la adición de la enzima está relacionada a la temperatura y tiempo de reacción, tipo de carne, presencia de algún otro aditivo y calidad de la proteína.

Estadísticamente para este caso que se utilizó carne de pavo, la Tabla 35 muestra que los medallones en los que se obtuvo menor dureza fue en los que no tuvieron tratamiento térmico, concentración de 0.0065% TGm, con 120 h de reposo y una dureza promedio de 0.1979 kg f/cm<sup>2</sup>, y respecto al % de sinéresis, fue en los que tuvieron tratamiento térmico (55°C por 30 min), concentración de 0.0065% TGm con un tiempo de reposo de 48 h y con un % de sinéresis promedio de 2.179%. Por lo que la concentración que se debe de emplear para reestructurar es la de 0.0065% TGm, ya que se tuvo menor dureza y

porcentaje de sinéresis respecto al resto de las concentraciones utilizadas en los medallones (0%, 0.05%, 0.1% y 0.3% de TGm); así como el tiempo para obtener menor dureza y % de sinéresis en los medallones, es a las 48 h de reposo con tratamiento térmico (55°C por 30 min), debido a que el tiempo de reposo de 0 h está indicado como el inicio de la sinéresis en el reestructurado y a las 120 h sin tratamiento térmico aunque la dureza es menor, la sinéresis es mayor respecto a los medallones de 48 h de reposo, o en el caso de dureza como mencionan Serrano *et al.*, 2005, que los productos reestructurados experimentan un endurecimiento mayor, a lo largo del periodo de reposo. Este aumento es debido a diferentes factores, principalmente a la sinéresis producida. Originando pérdida de peso y productos más rígidos con una mayor resistencia a la penetración.

Los medallones en los que se obtuvo mayor dureza fue en los que no tuvieron tratamiento térmico, concentración de 0.1000% TGm, con 120 h de reposo y una dureza promedio de 0.5693 kg f/cm<sup>2</sup> y respecto al % de sinéresis, fue en los que tuvieron tratamiento térmico (55°C por 30 min), concentración de 0.1000% TGm con un tiempo de reposo de 120 h y con un % de sinéresis promedio de 4.230%, debido a que como indican Restrepo *et al.*, 2010, que la sinéresis presenta diferencia en función del tratamiento térmico y tiempo de reposo del producto, aumentando dicha sinéresis con respecto al tiempo de reposo. Así como Uresti *et al.*, 2006, mencionan que la falta de tratamiento térmico, provoca que se lleve a cabo una baja intensidad en la desnaturalización de las proteínas lo que no permite a la enzima obtener suficiente sustrato para catalizar las reacciones de unión entre proteínas a la misma velocidad con lo que lo hace cuando se le da tratamiento térmico a los medallones.

Los medallones de carne de pavo con menor sinéresis y dureza fueron los elaborados con 0.0065% TGm, con tratamiento térmico de 55°C por 30 min y con tiempo de reposo de 48 h; en caso contrario, los de mayor dureza y sinéresis fueron los elaborados con 0.1000% TGm, sin tratamiento térmico y con tiempo de reposo de 120 h.

Los resultados obtenidos estadísticamente para medallones de pavo, se resumen en la Tabla 35.

**Tabla 35 Resultados de sinéresis y dureza de medallones de pavo**

	TIEMPOS DE REPOSO Y CONCENTRACIONES CON MENOR DUREZA Y % DE SINÉRESIS EN MEDALLONES DE PAVO RESTRUCTURADOS		TIEMPOS DE REPOSO Y CONCENTRACIONES CON MAYOR DUREZA Y % DE SINÉRESIS EN MEDALLONES DE PAVO RESTRUCTURADOS	
SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico.	0 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.000% de sinéresis	0.0500% TGm con una media de 1.242% sinéresis	48 h, sin tratamiento térmico con una media de 3.9246% de sinéresis	0.1000% TGm con una media de 2.510% sinéresis
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN Sin reposo contra 18,48 y 120 h de reposo y sin tratamiento térmico.	120 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.1979 kg f/cm <sup>2</sup> .	0.0065%TGm con una media de 0.2281 kg f/cm <sup>2</sup> .	120 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.5693kg f/cm <sup>2</sup> .	0.1000%TGm con una media de 0.3718 kg f/cm <sup>2</sup> .
SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.	48 h, con tratamiento térmico con una media de 2.1798% de sinéresis	0.0065%TGm con una media de 2.761% de sinéresis	120 h, con tratamiento térmico con una media de 4.2302% de sinéresis	0.1000% TGm con una media de 3.594% sinéresis
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 18, 48 y 120 h de reposo y con tratamiento térmico.	48 h, con tratamiento térmico con una media de 0.33158 kg f/cm <sup>2</sup>	0.0065%TGm con una media de 0.29910 kg f/cm <sup>2</sup>	18 h, con tratamiento térmico con una media de 0.37993 kg f/cm <sup>2</sup>	0 %TGm con una media de 0.44008 kg f/cm <sup>2</sup>
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 0, 18, 48 y 120 h de reposo, con y sin tratamiento térmico	0 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.1979 kg f/cm <sup>2</sup>	0.0065%TGm con una media de 0.2999 kg f/cm <sup>2</sup>	120 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.5693 kg f/cm <sup>2</sup>	0.1000%TGm con una media de 0.4073 kg f/cm <sup>2</sup>
SINÉRESIS contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN 0, 18, 48 y 120 h de reposo, con y sin tratamiento térmico.	48 h, con tratamiento térmico con una media de 2.180% de sinéresis	0.0065%TGm con una media de 2.707%de sinéresis	120 h, con tratamiento térmico con una media de 4.230% de sinéresis	0.1000%TGm con una media de 3.627%de sinéresis
DUREZA contra TIEMPO y CONCENTRACIÓN Sin reposo contra 48 h de reposo y sin tratamiento térmico..	0 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.1979 kg f/cm <sup>2</sup>	0.0065%TGm con una media de 0.3010 kg f/cm <sup>2</sup>	48 h, sin tratamiento térmico con una media de 0.5693 kg f/cm <sup>2</sup>	0.1000%TGm con una media de 0.5508 kg f/cm <sup>2</sup>

Cabe mencionar que aunque no se adicionó sal en la reestructuración de carne de pavo, Uresti *et al.*, 2004, en su estudio de reestructuración con pescado, observaron el comportamiento de los reestructurados, afirmando que la enzima se comporta de la misma manera con o sin la presencia de sal. Ramírez *et al.*, 2002, afirman que el uso de la enzima, permite eliminar o reducir los niveles de sal adicionada en productos tratados térmicamente, así como en los no tratados térmicamente y que no afectara en la reestructuración de alimentos.

## CONCLUSIONES

La sinéresis producida por los medallones de carne de pavo de todos los lotes, sin tratamiento térmico, fue mayor, a mayor tiempo de reposo, con una diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes tiempos de reposo, aunque los valores son menores que los obtenidos en los lotes tratados térmicamente y sin diferencia estadística para los lotes adicionados o no con TGm.

La dureza de los medallones de carne de pavo mostró un incremento en la tendencia al aumentar el tiempo de reposo, con resultados estadísticamente significativos, en los lotes sin tratamiento térmico, está en función del tiempo de reposo aunque sin diferencia estadística para los lotes adicionados o no con TGm.

La sinéresis producida por los medallones de carne de pavo de todos los lotes, con tratamiento térmico, fue mayor, a mayor tiempo de reposo, con una diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes tiempos de reposo y sin diferencia estadística para los lotes adicionados o no con TGm.

La dureza de los medallones de carne de pavo mostró un incremento en la tendencia al aumentar el tiempo de reposo, con resultados estadísticamente significativos, en los lotes sin tratamiento térmico en función del tiempo de reposo, aunque sin diferencia estadística para los lotes adicionados o no con TGm.

La dureza de los medallones de pavo a distintos tiempos de reposo y con tratamiento térmico no mostró resultados estadísticamente significativos aunque los valores obtenidos fueron mayores que en aquellos sin tratamiento térmico, la adición o no de TGm tampoco tuvo efecto significativo a ninguna concentración en los medallones tratados térmicamente.

Con base en los datos analizados, los medallones reestructurados de carne de pavo con la mayor estabilidad respecto a los parámetros dureza y sinéresis producidas, fueron los que se elaboraron con la concentración de TGm de 0.0065% (65 partes por millón), con tratamiento térmico (55°C por 30 min), con un tiempo de reposo de 48 h, dureza de 0.33158 kg f /cm<sup>2</sup> y 2.179% de sinéresis.

Los medallones reestructurados de carne de pavo con la menor estabilidad respecto a los parámetros dureza y sinéresis producidas, fueron los que se elaboraron con la concentración de TGM de 0.1000%, sin tratamiento térmico, con un tiempo de reposo de 120 h, una dureza de 0.5693 kg f /cm<sup>2</sup> y 4.230% de sinéresis.

## RECOMENDACIONES

Evaluar cómo influye la incorporación de otro(s) ligantes (gomas, polisacáridos, etc.) en la reestructuración de la carne de pavo, para comparar entre la reestructuración debida a enzimas transglutaminasas, respecto del efecto de la adición de ingredientes funcionales, en los parámetros de dureza y sinéresis.

Evaluar los reestructurados con otros dispositivos de análisis de textura (Dinamómetro, Texturómetro, Tenderómetro, etc.)

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. Asenjo, M.B. (1999). Efecto de la raza y de la alimentación en los parámetros productivos y de calidad de canal y de carne en añojos de razas charolais y serrana soriana. España: Tesis de Doctorado en Veterinaria. Universidad de Valladolid. Escuela Universitaria de Ingenierías Agrarias de Soria.
2. Barioglio, C.F. (2004). Diccionario de producción animal. Brujas, Argentina. 231.
3. Bejarano, S.M. (2001). Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Martín & Macías. España. 1469-1487, 1494-1507, 1592-1594.
4. Berganza, S.R. (2006). Inclusión de tres niveles de carne mecánicamente deshuesada de pollo (MDM) en la elaboración de salchichas escaldadas. Guatemala: Tesis de Licenciatura en Zootecnia. Universidad de San Carlos Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
5. Borderías, A.J., Pérez-Mateos, M. (1996). Productos pesqueros reestructurados. Alimentaria, 269: 53-62
6. Bourneow, C., Benjakul, S., Sumpavapol, P., H-kittikun, A. (2012). Isolation and cultivation of transglutaminase producing bacteria from seafood processing factories. Thailand. Department of Food Technology, Innovative Romanian Food Biotechnology, 10: 28-39.
7. Bugueño, G., Petzold, G., Pinto, A., Plaza, C., Bastias, J.M. (2009). **Utilización de la enzima transglutaminasa (TG) en la elaboración de Salchichas a base de descartes. Chile: Carnilac Industrial. Universidad del Bio-Bio. Facultad de Ciencias de la Salud y Alimentos.**
8. Calderón, GN. (2007). Elaboración de un producto reestructurado tipo jamón a partir de lisa (*mugilcephalus*). México: Tesis Maestría. Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. UAT.
9. Cambero, M.I., López, M.O., García de Fernando, G.D., De la Hoz, L., Ordoñez, J.A. (1991). Restructured meats II. Manufacture and marketing. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 31(4): 447-458.
10. Carballo, J., Ayo, J., Jiménez Colmenero, F. (2005). Microbial transglutaminase and caseinate systems as a cold set binders: Influence of meat species and chilling storage. Food Science and Technology, 39 (6): 692-699.

11. Chacón, A. (2004). La suavidad de la carne: Implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. Universidad de Costa Rica. 15(2): 225-243.
12. Cheftel, J.C., Cheftel, H., Besancon, P. (1977). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Acribia, Zaragoza.
13. Cofrades, S., Ayo, J., Serrano, A., Carballo, J., Jiménez Colmenero, F. (2006). Walnut, microbial transglutaminase and chilling storage time effects on salt-free beef batter characteristics. *European Food Research and Technology*, 222, 458-466.
14. Cornejo, V., Fernández, E. (2009). Beneficios de la carne de pavo. Chile: Universidad de Chile. 1-8.
15. Curotto, E.M., Dondero, M.L., Muñoz, C.J., Álvarez, L.A. (2007). Extracción, caracterización parcial y termoestabilidad de la enzima transglutaminasa en surimi, en músculo blanco de jurel y en miofibrillas de vacuno. *Información Tecnológica*, 18 (3): 3-12.
16. De Jong, G.A.H., Koppelman, S.J. (2002). Transglutaminase catalyzed reactions: impact on food applications. *Journal of Food Science*, 67 (8):2798-2806.
17. Dondero, M., Figueroa, V., Morales, X., Curotto, E. (2006). Transglutaminase effects on gelation capacity of thermally induced beef protein gels. *Food Chemistry*, 99: 546-554.
18. Escobar, J.E. (1973). *Tecnología práctica de la carne*. Acribia, Zaragoza. 81-83, 109-111.
19. Ezequiel, F., Valle, F.G., Vásquez, S.N., Velásquez, A. (1983). Parámetros productivos y reproductivos del guajolote criollo (*Meleagris gallopavo*). México: Tesis de licenciatura en Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo.
20. Farchmin, G. (1967). *Inspección veterinaria de los alimentos*. Acribia, Zaragoza. 52-61, 185, 202-205.
21. Field, R. A., Williams, J. C., Prasad, V. S., Cross, H. R., Secrit, J. L., Brewer, M. S.(1984). An objective measurement for evaluation of bind in restructured lamb roasts. *Journal of Texture Studies*, 15 (2): 173-178.
22. Han, M., Zhang, Y., Fei, Y., Xu, X., & Zhou, G. (2009). Effect of microbial transglutaminase on NMR relaxometry and microstructure of pork myofibrillar protein gel. *European Food Research and Technology*, 228(4), 665-670.

23. Heremans, K.; Van Camp, J.; Huyghebaert, A. (1997). High pressure effects on proteins. In food proteins and their applications. Marcel Dekker Inc., New York, 473-502.
24. Hernández, B.J., Ríos, R.F.G. (2009). Efecto de los grupos raciales bovinos en las características de calidad de la carne. *Nacameh*, 3(1): 1-20.
25. Hie-joon K., Hyo S. (1999). Investigation of transglutaminase-induced peptide cross-linking. *Bull Korean Chem. Soc*, 20 (11): 1299-1302.
26. Jozami, B.F & Seselovsky, R. (2003). Usos de la transglutaminasa en la industria alimentaria, elaboración de carne reconstituida. *Argentina*. 6 (10): 157-164.
27. Kashiwagi, T., Yokoyama, K., Ishikawa, K., Ono, K., Ejima, D., Matsui, H. and Suzuki, E. (2002). Crystal structure of microbial transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*. United States of America. *Journal of Biological Chemistry*, 277 (46): 44252-44260.
28. Kessel, M.V & Kartzfehn. (1971). Producción comercial de pavos broiler. *Acribia*, Zaragoza. 140-142.
29. Kim, B.Y., Park, J.W., Yoon, W.B. (2004). Rheology and texture properties of surimi gels. *Surimi and surimi seafood*. CRC Press, Boca Raton. Florida. 491-582.
30. Kingsley, K., Agyare<sup>a</sup>., Youling, L., Xiong<sup>a,\*</sup>., Kwaku., Addo<sup>b</sup>. (2008). Influence of salt and pH on the solubility and structural characteristics of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate. *Food Chemistry*, 107: 1131-1137.
31. Lauber, S., Henle, T., Klostermeyer, H. (2000). Relationship between the crosslinking of caseins by transglutaminase and the gel strength of yoghurt. *Europe Food Res Technology*. 10:305–309.
32. Lawrie, R.A. (1998). *Ciencia de la carne*. Acribia, Zaragoza.
33. Lee, E.Y & Park, J. (2002). Pressure inactivation kinetics of microbial transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*. *Journal of Food Science*, 67 (3): 1103-1107.
34. Libby, J.A. (1981). *Higiene de la carne*. Continental, México. 412-415.
35. Losada, H., Rivera, J., Cortez, J., Castillo, A., González, R.O., Herrera, J. (2006). Un análisis de sistemas de producción de guajolotes (*Meleagris gallipavo*) en el espacio suburbano de la delegación de Xochimilco al sur de la Ciudad de México. *Investigación Agropecuaria para el Desarrollo Rural*. 18 (4).

36. Mandingo, R.W. (1988). Restructured meats in developments in meat science-4. Elsevier. New York. 297-315.
37. Márquez, E., Arévalo, E., Barboza, Y., Benítez, B., Rangel, L., Archile, A. (2006). Efecto de la concentración de transglutaminasa y tiempo de reacción en la estabilidad de productos reestructurados. *Revista científica*. 16 (6): 662-667.
38. Matsumoto, J.J. (1980). Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage. New York. American Chemical Society. 123 (5): 95- 124.
39. Moreno, C.H.M. (2010). Reestructuración en frío de músculo de pescado mediante la incorporación de alginato sódico y transglutaminasa microbiana. España: Tesis de Doctorado en Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria.
40. Motoki, M. y Seguro, K. (1998). Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 9 (5): 204-210.
41. Mountney, G.J., Parkhurst, C.R. (2001). Tecnología de productos avícolas. Acribia, Zaragoza. 29, 205-208.
42. Newmann, K.F. (2001). Crianza de pavos. Centro de estudios agropecuarios. Agronegocios. Iberoamericana, México. 7-15.
43. NOM-158-SCFI-2003, Jamón-Denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación 14 Agosto del 2003.
44. NOM-034-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Productos de la carne. Carne molida y carne molida moldeada. Envasadas. Especificaciones sanitarias.
45. Nonaka, M., Tanaka, H., Oliyama, A., Motoki, M., Ando, H., Umeda, K., Matsura, A. (1989). Polymerisation on several proteins by  $Ca^{2+}$  independent transglutaminase derived from microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry*. 53: 2619-2623.
46. Onega, P.M.E. (2003). Evaluación de la calidad de carnes frescas: Aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. España: Tesis de Doctorado en Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria.
47. Orihuela, M.D., Apaza, A.R., Rengifo, Z.C.Y., Quito, V.M. (2010). Comportamiento y determinación de acidez y pH en carne de pavita. Perú: Centro de Investigación de Ciencias de Alimentos. Universidad Peruana.

48. Payne, C. (2000). Transglutaminasa, una innovación tecnológica. *Carnetec*. Marzo/Abril, 2: 26-29.
49. Ramírez, J.A., Uresti, R., Téllez, S., Vázquez, M. (2002). Using salt and microbial transglutaminase as binding agents in restructured fish products resembling hams. *Journal of Food Science*, 67: 1778-1784.
50. Ramírez, A.R.I. (2006). *Tecnología de carnes y pescados*. Colombia. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 60 – 62.
51. Rangel, L. (2002). Estudios en calidad nutricional y aceptabilidad de un producto formulado con carne de pollo deshuesada mecánicamente. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Venezuela*, 52(3): 307-312.
52. Restrepo, M.D.A., Molina, C.F.A., Cabrera, T.K.R. (2010). Efecto de la adición de carragenina kappa I.II y goma tara sobre características de calidad del jamón de cerdo picado y cocido. Colombia. *Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2): 5717-5727.
53. Rivadeneyra. (1981). Conferencias sobre la producción de pavos. U.S. Feed Grains Council y American Soybean Association en cooperación con el Ministerio de Agricultura de los E.U. de Norteamérica. España. 9, 71-72.
54. Ruiz, C., Higginbotham, D., Carpenter, J., Lanier, T. (1993). Use of chuck muscles and their acceptability in restructured beef / surimi steaks. *Journal of Animal Science*. 71: 2654-2658.
55. Ruiz, J., Regenstein, J.M (2002). Emulsion stability and water uptake ability of chicken breast proteins as affected by microbial transglutaminase. *Journal of Food Science*, 67 (2): 734 -736.
56. Sakamoto, H., Kumazawa, Y., Toiguchi, S., Seguro, K., Soeda, T., Motoki, M. (1995). Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during onshore surimi manufacture. *Journal of Food Science*, 60:300-304.
57. Sams, A.R. (2001). *Poultry meat processing*. United States of America. Department of Poultry Science. Texas A&M University. 195- 226.
58. Sánchez, A.I., Haji, M.R. y Borderias, J. (2007). Wheat fiber as a functional ingredient in restructured fish products. *Food Chemistry*. 100: 1037-1043.

59. Schleeauf, S.N. (2001). A novel microbial transglutaminase derived from *Streptovercillium baldaccii*. Australia: Tesis de doctorado. Universidad de Griffith. Facultad de ciencias.
60. Serrano, A., Cofrades, S., Jiménez, C. (2004). Transglutaminase as binding agent in fresh Restructured beef steak with added walnuts. *Food Chemistry*, 85: 423-429.
61. Serrano, A., Cofrades, S., Jiménez, C. (2005). Characteristics of restructured beef steak with different proportions of walnut during frozen storage. *Meat Science*. 72: 108-115.
62. Soto, L.A., Gómez, C.L., Castro, B.M. y Rubio, L.M. (2010). Transglutaminasa y carragenina en reestructurados de res. *Carnepress*. Junio, 1: 22-27.
63. Téllez, L., Ramírez, J.A., and Vázquez, M. (2004). Application in restructured fish products of transglutaminase obtained by *streptovercillum ladakanaum* in media made from hydrolysates of sorghum straw. *Food Microbiology and Safety*. 69: 24-29.
64. Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins-implications on structure and quality of meat products. Review. *Meat Science*, 70: 493-508.
65. Totosaus, S.A. (1996). Funcionalidad de extractos proteicos musculares de cabra y res. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento. México: Tesis de Maestría en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de Biotecnología.
66. Trespacios, S.M.P. (2007). Gelificación de productos avícolas por alta presión isostática: Actividad sinérgica de la transglutaminasa microbiana. Bellaterra: Tesis de Doctorado en Ciencia de los Alimentos. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Veterinaria.
67. Umaña, C.E. (2007). Conservación de alimentos por frío refrigeración/ congelamiento. Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria (FIAGRO).8-13, 65-68.
68. Uresti, R., Ramírez, J., López-Arias, N., Vázquez, M. (2003). Negative effect of combing microbial transglutaminase whit low methoxylpectins on the mechanical properties and color attributes of fish gels. *Food Chemistry*, 80: 551-556.
69. Uresti, R., Téllez-Luis, S., Ramírez, J., Vázquez, M. (2004). Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthy smolitrix*). *Food Chemistry*, 86: 257-262.

70. Uresti, R., Velázquez, G., Vázquez, M., Ramírez, J., Torres, J. (2006). Effects of combining Microbial transglutaminase and high pressure processing treatments on the mechanical properties of heat-induced gels prepared from arrow tooth flounder (*Atheresthesstomias*). *Food Chemistry*, 94: 202- 209.
71. Villamar, A.L., Guzmán, V.H. (2006). Situación actual y perspectiva de la producción de carne de guajolote (pavo) en México. Coordinación general de ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 9-12.
72. Werner, J., Rainer, P. (1978). Conservación de la carne por el frío. *Acribia*, Zaragoza. 60-75, 80.
73. Wilhelm, B., Meinhard, A., Seitz, J. (1996). Transglutaminases: Purification and activity assays. *Journal chromatography B: biomedical applications*, 684:163-177.
74. Zhu, Y., Rinzema, A., Tramper, J., Bol, J. (1995). Microbial transglutaminase a review of its production and application in food processing. *Appl. Microbiol Biotechnology*. 44: 277 – 282.
75. Zhu, Y., Rinzema, A., Tramper, J., Bol, J. (1996). Medium design base on stoichiometric analysis of microbial transglutaminase production by *streptovercillium mobaraense*. *Biotechnology Bioengineering*. 50: 291-298.

### SITIOS DE INTERNET

[www.fao.gob.mx](http://www.fao.gob.mx) (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Consulta 11/ Noviembre /2012.

[www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org) (Estadística de la Organización para la Alimentación y la Agricultura). Consulta 11/Noviembre/2012.

[www.consumer.es](http://www.consumer.es). (2007). Alimentación, El pavo.

[www.argal.com](http://www.argal.com) (grupo alimentario argal, consulta 17 octubre 2012)

[www.bachoco.com.mx](http://www.bachoco.com.mx) (consulta, 17 octubre 2012)

[www.comepavo.com.mx](http://www.comepavo.com.mx) (consulta 17 octubre 2012)