



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

*“Evaluación de algunos métodos de descongelación de carne de bovino
(cuarto delantero) tras su almacenamiento en cámara durante ocho años”*

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS**

P R E S E N T A:

CARLOS JOSÉ HERRERA ORTEGA

ASESORES:

Dra. Adriana Llorente Bousquets

M. en C. Jonathan Coria Hernández

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2019



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

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

Evaluación de algunos métodos de descongelación de carne de bovino (cuarto delantero) tras su almacenamiento en cámara durante ocho años.

Que presenta el pasante: **Carlos José Herrera Ortega**
Con número de cuenta: **308068083** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 10 de diciembre de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz	
SECRETARIO	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
1er. SUPLENTE	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
2do. SUPLENTE	Q.F.B. Jonathan Pablo Paredes Juárez	

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

LMCF/javg

**El presente Trabajo de Tesis de Investigación fue desarrollado en el TMIA:
Taller de Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos en el Laboratorio 7 de
la Unidad de Investigación Multidisciplinaria UIM de la FES Cuautitlán UNAM**

**Recibió apoyo del proyecto DGAPA-PAPIIT IT 202312: Estrategias de
bioconservación y conservación de la carne y productos cárnicos**

**Y del proyecto FESC-PIAPI 1840: Procesos tecnológicos para la conservación y
bioconservación de carne y productos cárnicos**

AGRADECIMIENTOS

A la **UNAM**, la máxima casa de estudios, que por medio de la F.E.S. Cuautitlán, me ha brindado todas las herramientas para formarme profesionalmente como Ingeniero en Alimentos.

A la **Dra. Adriana Llorente Bousquets**, por su amor y gran interés en la docencia, por ser mi guía durante todo este proceso, por su enorme paciencia y dedicación; gracias por todo el apoyo incondicional.

Al **M. en C. Jonathan Coria Hernandez**, por todas sus enseñanzas, por todo el tiempo y esfuerzo que me ha dedicado, por haber creído siempre en mí y mostrarme el camino cuando me sentía perdido, muchas gracias.

Agradezco a mi **familia**, por todo el amor y el apoyo que he recibido durante toda la vida, por todos los valores adquiridos bajo su cobijo y protección. En especial mi madre **Irma Ortega Monroy**, por ser quien a pesar de todas las dificultades siempre encontró la manera de sacarnos adelante, por ser un gran ejemplo a seguir, por nunca perder la fe en mí. No existen palabras suficientes para expresar lo orgulloso y agradecido que me siento de ser tu hijo.

A **Paloma Arlea Espejo Peralta**, por todo el amor y comprensión que me has mostrado durante esta prácticamente toda esta etapa, por todo el apoyo recibido, por siempre darme ese empujón cuando más lo necesitaba. Gracias por permitirme ser parte de tu vida y hacerme partícipe en todas tus locuras. Te amo.

Al jurado de esta tesis, por sus aportes y atenciones.

A todos los profesores que me regalaron sus conocimientos. Aprecio mucho el tiempo dedicado a mi formación. Mil gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1. Carne.....	15
1.2. Composición química de la carne de bovino	15
1.2.1. Agua	16
1.2.2. Proteínas.....	16
1.2.2.1. Miofibrilares	16
1.2.2.2. Sarcoplásmicas.....	19
1.2.2.3. Del tejido conectivo	21
1.2.3. Lípidos	21
1.2.4. Carbohidratos.....	22
1.3. Factores que afectan la calidad de la carne	22
1.3.1. Buenas prácticas de producción pecuaria.....	22
1.3.2. Manejo <i>ante mortem</i>	24
1.3.3. Matanza	25
1.3.4. Manejo <i>post mortem</i>	26
1.4. Congelación.....	27
1.4.1. Congelación lenta.....	30
1.4.2. Congelación rápida	30
1.5. Descongelación	31
1.5.1. Efectos de la descongelación	31
1.5.2. Métodos tradicionales	32
1.5.2.1. Refrigeración	32
1.5.2.2. A temperatura ambiente	32
1.5.3. Nuevas tecnologías.....	32
1.5.3.1. Descongelación por ultrasonido.....	33
1.5.3.2. Descongelación por microondas.....	34
1.6. Evaluación de las propiedades físicas y fisicoquímicas.....	36
1.6.1. Propiedades físicas	36
1.6.1.1. Parámetros de perfil de color (PPC).....	36

1.6.1.2.	Dureza	38
1.6.2.	Propiedades fisicoquímicas	38
1.6.2.1.	pH.....	38
1.6.2.2.	Capacidad de retención de agua (CRA)	39
1.6.2.3.	Actividad de agua (<i>aw</i>)	40
JUSTIFICACIÓN	42
OBJETIVOS		43
Objetivo general.....		43
Objetivo particular 1		43
Objetivo particular 2		43
Objetivo particular 3		43
Hipótesis		44
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL		45
2.1. Cuadro metodológico.....		45
2.2. Materiales y métodos.....		46
2.2.1. Actividades preliminares.....		46
2.2.1.1. Determinación de la geometría de las muestras.....		46
2.2.1.2. Estandarización del manejo de las muestras.....		46
2.2.1.3. Condiciones de operación de los equipos (tiempo, temperatura y potencia).....		47
2.2.2. Métodos de descongelación		51
2.2.2.1. Descongelación por refrigeración		52
2.2.2.2. Descongelación en cámara climática		52
2.2.2.3. Descongelación por ultrasonido		53
2.2.2.4. Descongelación por microondas		53
2.2.3. Evaluación de carnes descongeladas.....		54
2.2.3.1. Parámetros de perfil de color (PPC).....		54
2.2.3.2. pH.....		55
2.2.3.3. Actividad de agua (<i>aw</i>)		56
2.2.3.4. Dureza		56
2.2.3.5. Capacidad de retención de agua (CRA)		57
2.3. Diseño experimental		58

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
3.1. Parámetros de Perfil Color.....	59
3.1.1. L*.....	60
3.1.2. a*.....	61
3.1.3. b*.....	62
3.1.4. % Reflectancia.....	63
3.2. pH.....	64
3.3. CRA.....	65
3.4. <i>aw</i>	67
3.5. Dureza.....	68
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS CITADAS	72

Índice de figuras

Figura 1. Representación esquematizada de la actina	17
Figura 2. Representación esquematizada de la miosina	18
Figura 3. Representación esquematizada del sarcómero	18
Figura 4. Esquema de los cambios de color por óxido-reducción de la mioglobina.....	20
Figura 5. Curva de congelación	28
Figura 6. Funcionamiento del baño ultrasónico.....	34
Figura 7. Longitud de onda del espectro electromagnético correspondiente a las microondas	35
Figura 8. Esfera cromática	37
Figura 9. Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua.	41
Figura 10. Geometría y dimensiones aproximadas de las unidades experimentales	46
Figura 11. Estandarización de las muestras	47
Figura 12. Muestra de cuete de res.....	47
Figura 13. Refrigerador vertical de 4 puertas	48
Figura 14. Diagrama de cuadrantes del refrigerador vertical de 4 puertas	48
Figura 15. Cámara climática Binder	49
Figura 16. Baño ultrasónico Cole-Parmer	50
Figura 17. Microondas casero LG.....	51
Figura 18. Descongelación por refrigeración	52
Figura 19. Descongelación en cámara climática.....	52
Figura 20. Descongelación por ultrasonicación.....	53
Figura 21. Descongelación por microondas.....	53
Figura 22. Espectrofotómetro Konica Minolta CM-600d	54
Figura 23. Capuchón de calibración (Espectrofotómetro Konica Minolta CM-600d).....	54
Figura 24. Medición de los parámetros de perfil de color	55
Figura 25. Medición de pH con potenciómetro Orion Five Star	55
Figura 26. Determinación de a_w con higrómetro de punto de rocío Pawkit	56
Figura 27. Medición de dureza con penetrómetro con punta de 11 mm	56
Figura 28. Determinación de la capacidad de retención de agua	57
Figura 29. Medición del volumen sobrenadante.....	57

Figura 30. ANOVA del parámetro L* con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	60
Figura 31. ANOVA del parámetro a* con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	61
Figura 32. ANOVA del parámetro b* con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	62
Figura 33. Curva espectral de la desoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina	63
Figura 34. Curva espectral para descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	64
Figura 35. ANOVA de pH con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	65
Figura 36. ANOVA de CRA con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	66
Figura 37. ANOVA de a_w con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	67
Figura 38. ANOVA de dureza con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)	68

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición química de la carne (g/100 g).....	15
Cuadro 2. Temperatura y humedad relativa promedio	49
Cuadro 3. Tiempo necesario para descongelar la muestra de 210 g con ultrasonido	50
Cuadro 4. Tiempo necesario para descongelar la muestra de 210g con microondas.....	51

Nomenclatura

°C	Grados Celsius, unidad de temperatura
a^*	Cromaticidad verde-rojo
ADP	Adenosín difosfato
ATP	Adenosín trifosfato
a_w	Actividad de agua
b^*	Cromaticidad amarillo-azul
Ca^{2+}	Catión divalente de calcio
CC	Cámara climática
cm	Centímetros, unidad de longitud
CRA	Capacidad de retención de agua
DMb	Desoximioglobina
Fe^{2+}	Catión ferroso
Fe^{3+}	Catión férrico
g	Gramo, unidad de masa
GHz	Gigahercio, unidad de frecuencia
HR	Humedad relativa
K	Kelvin, unidad de temperatura
kDa	Kilodalton, unidad de masa
kg	Kilogramo, unidad de masa
kHz	Kilohercio, unidad de frecuencia
L^*	Luminosidad
m	Metro, unidad de longitud
Mg^{2+}	Catión divalente de magnesio
MHz	Megahercios, unidad de frecuencia
mL	Mililitros, unidad de volumen
MMb	Metamioglobina
mmHg	Milímetros de mercurio, unidad de presión
MO	Microondas

NH_2	Grupo amino
O_2	Oxígeno molecular
OMb	Oximioglobina
pH	Potencial de hidrógeno
PPC	Parámetros de perfil de color
Ref	Refrigeración
rpm	Revoluciones por minuto
US	Ultrasonido
W	Watts, unidad de potencia

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron algunos parámetros físicos y fisicoquímicos que están relacionados con la calidad de la carne. La materia prima utilizada fue un bloque de carne proveniente de los cuartos delanteros de bovino cruza de razas europeas *Bos taurus*, de 24 meses de edad alimentado al pastoreo, envasado al vacío y almacenado en cámara (-20 ± 2 °C) durante ocho años. La carne fue sometida a diferentes métodos de descongelación, tanto métodos tradicionales (refrigeración y temperatura ambiente) como nuevas tecnologías, microondas y ultrasonido (baño ultrasónico Cole-Parmer), para evaluar el efecto del método empleado durante la descongelación en algunos parámetros de calidad de la carne.

Por cada método de descongelación, se utilizaron tres muestras de geometría paralelepípedo de dimensiones 7x4x3 cm aproximadamente, se realizaron por triplicado mediciones de cada uno de los atributos de calidad: parámetros de perfil de color, dureza, pH, capacidad de retención de agua y a_w . El análisis de resultados se realizó con el *software* Minitab 16, y se construyeron los gráficos correspondientes.

Es muy importante resaltar que diversos estudios hablan sobre el impacto del almacenamiento en congelación durante largos periodos, lo que contribuye directamente en el deterioro de las características fisicoquímicos y texturales en un sistema cárnico.

Cabe mencionar que el uso de microondas para la descongelación de la carne, en comparación con los demás métodos de descongelación, presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) en los resultados de L^* el valor más bajo, mientras que para a^* fue el valor más alto. De igual manera, los resultados de pH resultaron ser significativamente más bajos con respecto de los demás tratamientos. En cuanto a CRA (11.098%) y ($28,177 g_f/cm^2$) se obtuvieron los valores más bajos. En función de los parámetros evaluados, el tratamiento de descongelación en cámara climática, tuvo el menor impacto negativo en los atributos de calidad de la carne de bovino.

INTRODUCCIÓN

Los becerros de engorda son el insumo indispensable para producir carne de bovino y, por este motivo, constituyen un producto rentable y con gran demanda de la ganadería de nuestro país. México figura entre las primeras 10 naciones en la generación de carne de vacuno; aporta tres de cada 100 toneladas a la oferta mundial. En 2017, la producción de carne en canal de bovino rebasó las 1.9 millones de toneladas; cifra 2.6% superior a la obtenida en 2016%. En cuanto al consumo anual *per cápita* de carne en México es de 15.1 kg (Atlas agroalimentario 2018).

Uno de los principales factores que influyen en los atributos de calidad de la carne es la congelación, cuya finalidad es reducir las reacciones de deterioro y el crecimiento microbiológico, prolongando la vida útil. Para velocidades de congelación lenta (en cámara) los cristales de hielo se forman en el líquido extracelular menos concentrado y aumentan de tamaño progresivamente. Las concentraciones del medio intracelular y el crecimiento de los cristales provocan la desnaturalización de las proteínas y la ruptura de las membranas celulares (Genot & Djenane, 2003).

Otro factor importante es la descongelación, que consiste en la fusión del hielo para obtener un producto listo para el consumo inmediato, tratando de mantener al máximo las características de calidad. Durante este proceso los tejidos pierden su rigidez y frescura, favoreciendo que existan pérdidas de agua por exudado, con su consiguiente pérdida de sustancias que se encuentran solubilizadas o dispersas, alterando la calidad del producto (Fernández, 2007).

Durante el descongelamiento, la superficie de los alimentos descongela y la película de agua funciona como un aislante térmico que retrasa el proceso de descongelación. El extenso tiempo requerido por los métodos tradicionales puede incrementar el crecimiento microbiano en la superficie, reducir valores nutrimentales, incrementar los gastos energéticos y generar gran cantidad de aguas residuales. En años recientes, los investigadores han estudiado el uso de

tecnologías que permitan acelerar la velocidad de descongelación, reduciendo tiempos y minimizando los cambios en atributos de calidad comparados con los métodos convencionales (Min *et al.*, 2016).

En este proyecto se busca estudiar y comparar los cambios en los atributos de calidad generados por la descongelación utilizando métodos tradicionales, como lo son la descongelación a temperatura ambiente y por refrigeración; así como los producidos mediante la aplicación de nuevas tecnologías, en específico el uso de microondas y ultrasonido. Esto es de gran importancia para la industria cárnica, ya que se pueden reducir las mermas de producto cárnico y, por ende, reducir las pérdidas económicas; así como para el consumidor, teniendo un producto con mejores características nutricionales y sensoriales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Carne

El *Codex Alimentarius* define la carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin”.

En la *Norma Oficial Mexicana NOM-009-Z00-1994, Proceso sanitario de la carne.*, está definida como “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 el consumo humano”.

1.2. Composición química de la carne de bovino

La carne se compone de agua, proteínas y aminoácidos, minerales, grasas y ácidos grasos, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos. Tiene una composición de aproximadamente 75% de agua, 21% de proteínas, 2% de grasa y 2% de carbohidratos y cenizas, como se puede ver en el *Cuadro 1* (www.fao.org). Del contenido proteico total, las miofibrilares constituyen aproximadamente el 60% y las sarcoplásmicas 30-40%, siendo éstas las que confieren las propiedades funcionales de la carne asociadas con la integridad estructural (Andújar *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Composición química de la carne (g/100 g)

Producto	Agua	Proteínas	Grasas	Cenizas
Carne de Vacuno (magra)	75.0	22.3	1.8	1.2
Canal de vacuno	54.7	16.5	28.0	0.8
Carne de cerdo (magra)	75.1	22.8	1.2	1.0
Canal de cerdo	41.1	11.2	47.0	0.6
Carne de ternera (magra)	76.4	21.3	0.8	1.2
Carne de pollo	75	22.8	0.9	1.2
Carne de venado	75.7	21.4	1.3	1.2

Fuente: www.fao.org

1.2.1. Agua

Es un hecho su importancia en las innumerables transformaciones bioquímicas propias de todas las células vivas.

Tiene un gran número de funciones biológicas basadas en su capacidad de transportar sustancias, disolver otras y mantenerlas en solución o dispersión coloidal, así como su reactividad química (Badui & Cejudo, 2006).

La cantidad varía dependiendo de la especie, edad, sexo y zona anatómica del tejido. La variación de la cantidad de agua está estrechamente relacionada con la variación de la cantidad de grasa. El agua está relacionada con la jugosidad y otros atributos sensoriales como la textura, el color o la dureza de la carne.

1.2.2. Proteínas

La proteína está compuesta por cadenas de moléculas de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos (los aminoácidos se unen covalentemente formando un enlace amida entre los grupos α -amino y α -carboxilo terminales), formando polímeros polipeptídicos (Badui & Cejudo, 2006).

La proteína es el componente más importante de la carne y en contenido ocupa el segundo lugar después del agua. De acuerdo con su procedencia las proteínas del músculo se clasifican en: sarcoplásmicas, miofibrilares y del tejido conectivo.

1.2.2.1. Miofibrilares

Estas proteínas imparten al músculo rigidez estructural y son decisivas en la transformación de energía química en mecánica durante la contracción-relajación. Constituyen alrededor del 10% de la proteína de la carne y son solubles en salinas concentradas. Las propiedades de estas proteínas son de significativa importancia en los atributos de la calidad de la carne *post mortem*, están muy relacionadas con el *rigor mortis*, la ternura y la capacidad de retención de agua de las piezas de carne (Andújar *et al.*, 2009). Las principales son la actina y la miosina.

1.2.2.1.1. Actina

Esta proteína constituye aproximadamente el 22% del total de las proteínas musculares (Yates, Greaser & Huxley, 1983) y es rica en el aminoácido prolina. La actina es el principal constituyente de los filamentos delgados. Es una proteína globular constituida por una cadena polipeptídica simple que une un nucleótido (ATP o ADP) y un catión divalente (Ca^{2+} o Mg^{2+}) por monómero (Andrade, 2017). Ver *Figura 1*.

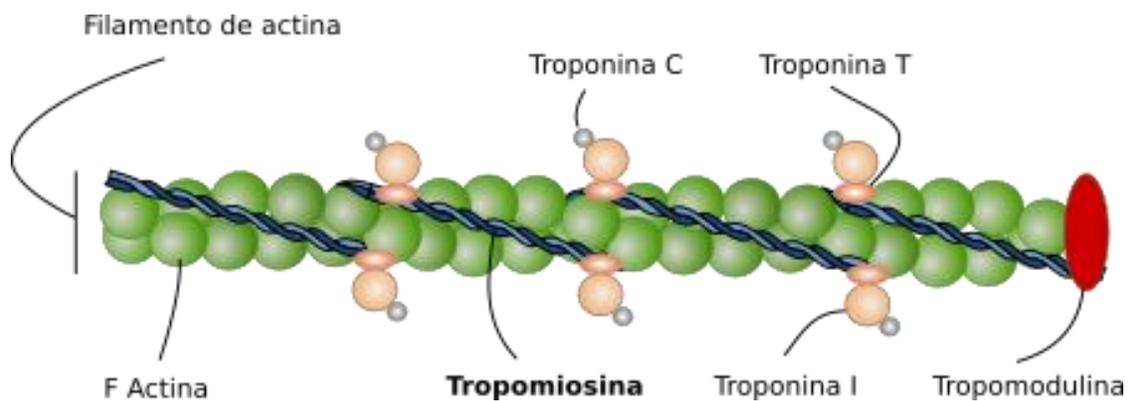


Figura 1. Representación esquematizada de la actina

Fuente: mmegias.webs.uvigo.es/8-tipos-celulares/miocito.php

1.2.2.1.2. Miosina

Es la más abundante de las proteínas miofibrilares; representa cerca del 55 a 60% de las proteínas totales, y constituye el 35% de todas las proteínas del tejido muscular (Yates, Greaser & Huxley, 1983).

La estructura de la miosina es de una varilla alargada, llamada región de la cola, con una porción gruesa al final, llamada región de la cabeza.

Contiene dos largas cadenas polipeptídicas idénticas de alrededor de 200 kDa denominados cadenas pesadas. Cada una de las cadenas se enrolla en una conformación α -helicoidal en la mayor parte de su longitud excepto en su extremo NH_2 terminal donde forma la cabeza, de estructura globular (Andújar *et al.*, 2009). Ver *Figura 2*.

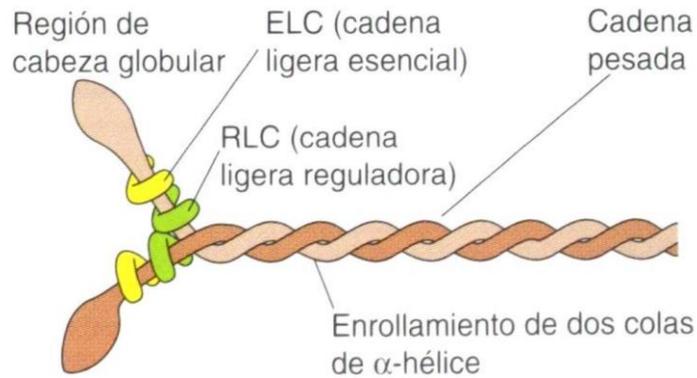


Figura 2. Representación esquematizada de la miosina

Fuente: www.mindomo.com

1.2.2.1.3. Actomiosina

Es un complejo de dos proteínas: la actina y la miosina. Se forma cuando ocurre la contracción muscular en el músculo vivo o en *pre-rigor* y, cuando ocurre el *rigor mortis*. Constituye la mayor parte de las proteínas fibrilares que se encuentran en el músculo *post mortem* y la rigidez que se origina después de la muerte del animal (*rigor mortis*) se debe en gran parte a este complejo (Andújar *et al.*, 2009). Ver Figura 3.

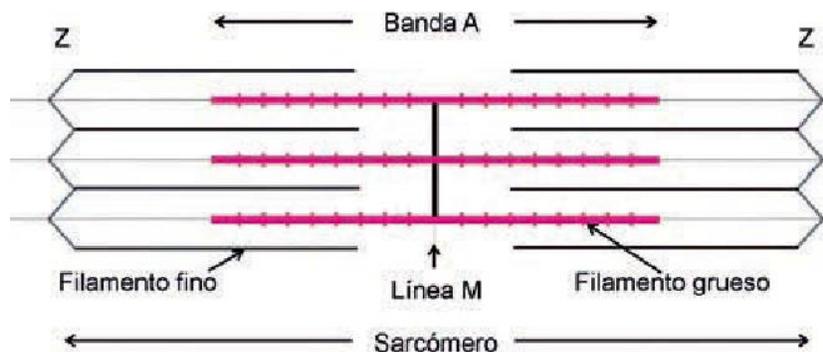


Figura 3. Representación esquematizada del sarcómero

Fuente: www.researchgate.net

1.2.2.2. *Sarcoplásmicas*

Este grupo de proteínas sarcoplásmicas incluye muchas enzimas involucradas en el metabolismo anaeróbico, las enzimas mitocondriales del ciclo de los ácidos tricarbónicos y los de la cadena transportadora de electrones y juegan un papel muy importante en los cambios que se producen tras la muerte durante su transformación en carne. Las proteasas y pigmentos musculares influyen notablemente en la calidad de la carne durante la fase *post mortem* y su procesamiento posterior.

La *mioglobina* y la *hemoglobina* son los compuestos que le proporcionan el color rojo a la carne. La mioglobina se encuentra en las células musculares y la hemoglobina es el pigmento de la sangre. La mioglobina es la principal responsable del color de la carne, ya que por lo general el contenido total de pigmentos de ésta se compone de aproximadamente un 95 % de mioglobina y 5 % de hemoglobina.

Ambas hemoproteínas, mioglobina y hemoglobina, son responsables del transporte y almacenamiento del oxígeno en el organismo del animal y se diferencian poco en su estructura química. El oxígeno de los pulmones es transportado por la hemoglobina y es captado por la mioglobina para su ulterior utilización en el metabolismo aeróbico. La capacidad que tiene el músculo de almacenar el oxígeno depende del contenido de mioglobina. Los músculos sometidos a un gran esfuerzo presentan un metabolismo energético intenso, por lo que disponen de un alto contenido de mioglobina

Los múltiples complejos de la mioglobina se pueden agrupar en dos grandes clases según la unión que establezcan sea iónica o covalente y el hierro esté en forma oxidada o reducida. Las uniones covalentes tienen más interés porque los pigmentos rojos tan deseados en la carne fresca y curada son miembros de esta clase.

El ciclo del color en las carnes frescas es reversible y dinámico permitiendo una constante interconversión de las tres formas de pigmentos: *mioglobina*, *oximioglobina* y *metamioglobina*. El color de la carne está determinado esencialmente por dos niveles de oxidación del átomo de hierro del grupo hemo.

Cuando el hierro ferroso del grupo hemo carece del sexto ligante, el pigmento es llamado *desoximioglobina*, y es de color púrpura. Esa variante de la mioglobina, en presencia de oxígeno se convierte en *oximioglobina*, ocupando el O₂ la sexta posición del Fe²⁺ y es responsable de la apariencia rojo cereza o brillante de la carne fresca, esta oxigenación de la mioglobina es conocida como “*blooming*” y depende del tiempo, pH y temperatura (AMSA, 2012). Esta reacción se favorece con altas presiones parciales de oxígeno (mayores que 40 mmHg). Las dos formas reducidas de mioglobina se oxidan a presiones parciales de O₂ entre 1 y 1,4 mmHg: el Fe²⁺ pasa a Fe³⁺, formándose *metamioglobina* de color marrón, en la que el agua ocupa la sexta posición de coordinación como sea puede observar en la *Figura 4* (Andújar *et al.*, 2009).

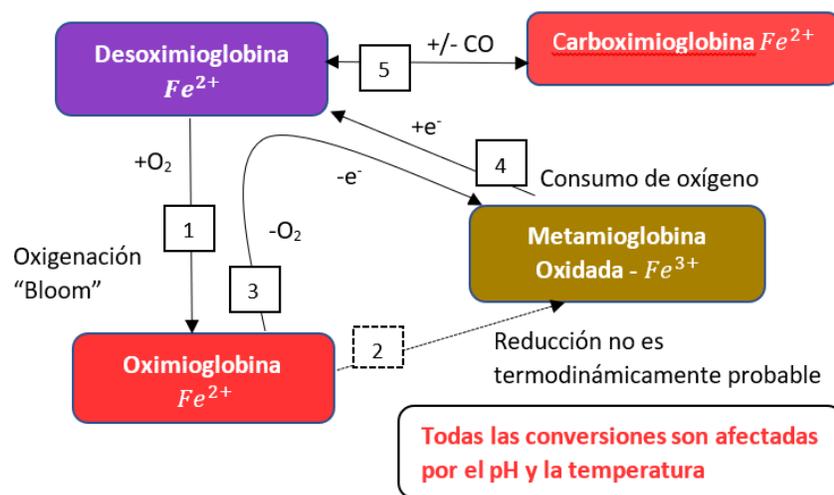


Figura 4. Esquema de los cambios de color por óxido-reducción de la mioglobina

Fuente: AMSA, 2012

La proporción relativa de la mioglobina en sus tres formas (DMb, OMb y MMb) en la superficie de la carne afecta en gran medida el color y la aceptación con el consumidor. El color de la carne fresca rojo-cereza para la carne de res, siempre que se encuentren en un empaque que permita el contacto con el oxígeno (AMSA, 2012).

1.2.2.3. *Del tejido conectivo*

Las proteínas del tejido conectivo tienen como función la protección mecánica del organismo, así como la de conectar músculos, órganos y otras estructuras del esqueleto. En el músculo transmiten la fuerza generada dentro de las fibras musculares al esqueleto. Estas proteínas son extracelulares. Los fibroblastos son los responsables de la formación de tendones y ligamentos y de sintetizar y secretar colágeno, elastina y otras proteínas (Andújar *et al.*, 2009).

Colágeno: Es la proteína más abundante de todas las proteínas de los vertebrados superiores y constituye alrededor de un tercio de la proteína total del cuerpo. Las fibras de colágeno están profusamente distribuidas en la piel, huesos, tendones y paredes arteriales. También en el epimisio, perimisio y endomisio de los tejidos musculares de los mamíferos (Andújar *et al.*, 2009).

Elastina: Es la proteína que entra en la composición de las fibras elásticas. En la piel, los cartílagos y el tejido graso y conectivo laxo, la elastina está presente en pequeñas cantidades; pero en las paredes de las grandes arterias y ligamentos, su contenido es muy alto. La presencia de elastina da la posibilidad al tejido de recobrar la forma original tras ser sometido a un estrés de compresión o extensión.

Es muy insoluble y es estable a temperaturas de hasta 150 °C; resiste la acción de la tripsina, la quimotripsina, la pepsina y las catepsinas (Andújar *et al.*, 2009).

Reticulina: Entra en la composición de las finas fibras reticulares en las cuales se encuentran los vasos sanguíneos (pulmones, piel, huesos y otros). Por su composición aminoacídica es semejante al colágeno, pero se diferencia de éste en que se tiñe de negro con solución de plata amoniacal, mientras que el colágeno se tiñe de pardo (Andújar *et al.*, 2009).

1.2.3. Lípidos

Es el componente de la carne que presenta mayor variación, en función de la relación agua-grasa. Todo lo que se encuentra en el agua: proteínas, sales, etc. varía con el aumento o disminución de la cantidad de grasa. Esta grasa se acumula en cuatro depósitos:

- Cavity corporal: Cavity torácica, abdominal y pélvica.
- Zona subcutánea
- Localización intramuscular
- Localización intermuscular.

Los principales factores que influyen en la cantidad y composición de la grasa son:

La especie, dentro de ella influye la raza, la edad y el sexo. Existe mayor cantidad de grasa en las hembras y en los machos castrados. También influye la alimentación y el tipo de crianza, ya sea intensiva o extensiva.

1.2.4. Carbohidratos

Se presenta en cantidades muy pequeñas, llegando a penas al 1% en la carne, siendo el más importante el glucógeno. El glucógeno es un polímero de α -D-glucosa con enlaces α (1 \rightarrow 4) y α (1 \rightarrow 6). Es la fuente de energía del músculo siendo parte del glucógeno consumido durante el *rigor mortis*.

1.3. Factores que afectan la calidad de la carne

Son muchos los factores que pueden afectar la calidad de la carne, unos son intrínsecos como la raza, la edad, el sexo, el tipo de alimentación; y otros son extrínsecos como el transporte, eviscerado, despiece, almacenamiento. Estos dependen del manejo al que han sido sometidos desde la crianza, la matanza y su posterior tratamiento para convertirse en carne.

1.3.1. Buenas prácticas de producción pecuaria

La raza ejerce una influencia en la composición, rendimiento y calidad de las canales, por lo que su estudio ha sido un campo atractivo para los investigadores. En general, la raza es un factor muy considerado en estudios de calidad, sin embargo, sus efectos no son tan importantes como lo pueden ser otros factores (Zimmerman, 2008). Diversos autores coinciden al definir la carne proveniente del ganado *Bos indicus* como menos tierna que la carne proveniente del ganado *Bos taurus* y esto tiene que ver con el proceso de proteólisis del músculo. En este proceso enzimático se ha atribuido a las calpaínas la mayor responsabilidad por el

ablandamiento de la carne *post mortem*. Un inhibidor enzimático de las calpaínas son las calpastatinas, las cuales también juegan un papel fundamental en este proceso. Terneza y actividad de las calpastatinas son características de heredabilidad moderada a alta.

Otro factor importante que afecta a la terneza es la madurez. Esta se refiere a la edad fisiológica y no la edad por calendario. Se evalúa por la anatomía de la carcasa observando los tejidos óseos, musculares y adiposos. La edad va relacionada con el peso de la faena, ya que en general, a mayor edad mayor es el peso al sacrificio. La inmadurez al sacrificio generalmente se relaciona con carnes blandas. A medida que los animales avanzan en madurez, la organización de las fibras de colágeno se hace más compleja y, por ende, menos soluble al calor de la cocción, haciendo que las carnes cocidas sean más duras al corte (Huerta y Rodas, 1998).

Con respecto a la alimentación, los distintos tipos de producción ofrecen carnes con distintas características de calidad. Los animales criados extensivamente llegan a la faena con bajo potencial glucolítico en los músculos comparados con aquellos criados de manera intensiva. En parte atribuidos a la calidad energética que tienen los pastos comparados con la dieta de un animal criado de manera intensiva, así como la cantidad de ejercicio que realizan los animales. Esto lleva a que los primeros tienen carne con menos contenido graso y son de color más oscuro (Zimmerman, 2008).

Las características favorables de la alimentación en base a granos de alto contenido energético, obedecen en parte, a un mayor engrasamiento de la canal y la carne. Alimentar con granos a los novillos, produce una mejor palatabilidad de la carne, no solo por la acumulación de grasa subcutánea e intermuscular, sino porque corre una mayor síntesis de proteína y con la nueva proteína colágeno sintetizada, fácilmente convertible a gelatina con la cocción, se producen carnes más blandas (Huerta y Rodas, 1998).

1.3.2. Manejo *ante mortem*

La energía requerida para la actividad muscular en un animal vivo se obtiene de los azúcares (glucógeno) presentes en el músculo. En un animal sano y descansado, el nivel de glucógeno de sus músculos es alto. Una vez sacrificado el animal, este glucógeno se convierte en ácido láctico y el músculo y la canal se vuelven rígidos (*rigor mortis*). Este ácido láctico es necesario para producir carne tierna, y de buen sabor, calidad y color. Pero si el animal está estresado antes y durante el sacrificio, se consume todo el glucógeno y se reduce el nivel de ácido láctico que se desarrolla en la carne luego de su sacrificio. Esto puede tener efectos adversos muy graves en la calidad de la carne.

Cuando los animales están sujetos a condiciones o circunstancias inusuales por las acciones deliberadas de las personas, es la responsabilidad moral de las personas el asegurar su bienestar, y evitar que sufran incomodidades, estrés o lesiones innecesarias.

El manejo del ganado en forma eficiente, experta y calmada, utilizando las técnicas e instalaciones recomendadas y tomando medidas para evitar el dolor y las lesiones accidentales, reducirá el estrés en los animales y se evitarán así defectos en la calidad de las carnes y de sus productos derivados (www.fao.org).

Existen principalmente tres factores que están relacionados con el estrés en los animales: el ayuno, el transporte y el tiempo. El ayuno, mientras más prolongado sea, ya sea por el transporte o por espera, se puede llegar a presentar estrés por hambre, sed o situaciones ambientales adversas. Consecuentemente, tanto desde el punto de vista de bienestar animal como de calidad de la carne, se deberían evitar las privaciones de alimento y agua en los animales.

El transporte resulta un evento desconocido y estresante para los animales. Involucra una serie de actividades tales como la carga, confinamiento, descarga y encierre en un ambiente desconocido que pueden llevar a la falta de bienestar animal. El transporte puede ocasionar pérdidas de peso, lesiones de diferentes grados, que terminan reflejándose en los cambios de pH. Por esta situación lo más

recomendable es usar estructura y materiales apropiados (pisos antiderrapantes, techo, ventilación, rampas adecuadas, control de velocidad, etc.) y permitir el transporte cómodo de los animales.

Los intervalos de tiempo muy largos provocan estrés, y provocan problemas como cambios de temperatura, falta de alimento, peleas, etc. Los corrales deben ser cómodos y estar bien diseñados, con disponibilidad de agua y alimento (NOM-051-ZOO-1995. Trato humanitario en la movilización de animales).

1.3.3. Matanza

La matanza es una actividad clave en la calidad de la carne. La NOM-033-ZOO-1995, "Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres", establece los métodos de insensibilización y sacrificio humanitarios para asegurar que la muerte sea rápida y que no cause sufrimiento en los animales.

El objetivo de la insensibilización es la pérdida de conocimiento para proceder al desangrado. Comúnmente se utilizan 4 tipos de aturdimiento: el eléctrico, el mecánico penetrante, el mecánico no penetrante y gas. Es importante mantener capacitado al personal, ya que, si no se lleva a cabo de manera adecuada, conlleva a un estado de estrés, provocando un aumento de adrenalina y noradrenalina, repercutiendo en la calidad de la carne.

El sacrificio se lleva a cabo mediante el desangrado, ya sea seccionando las arterias carótidas y las venas yugulares; y la otra es por medio de un corte en el surco yugular en la base del cuello. El desangrado debe practicarse solo en animales aturdidos en un lapso menor a los 30 segundos entre la insensibilización y el corte.

Después de la muerte del animal, cesa la circulación y la respiración, con lo que ya no hay aporte de O₂ y nutrientes a las células, dando lugar a la glucogenólisis y la glucólisis anaerobia, resultando en la producción de ácido láctico. Una vez acabadas las reservas de glucógeno la glucogenólisis y la glicolisis aerobia terminan, evitando que se siga produciendo ATP, este punto es conocido como *rigor mortis*. Aquí se produce una unión irreversible entre la actina y la miosina, responsables de la contracción muscular sostenida y la rigidez cadavérica. Una vez

completado este proceso, se inician una serie de cambios que resultan en el ablandamiento y la suavidad de la carne, mejorando el sabor y el aroma. Estos cambios ocurren naturalmente en los tejidos musculares almacenados en refrigeración, y se les denomina maduración (Zimerman, 2008).

1.3.4. Manejo *post mortem*

El frío afecta el pH de la carne, debido a que la actividad enzimática depende de la temperatura. El grado de enfriamiento incide en el grado de caída del pH, lo que afecta la velocidad del *rigor mortis*. El consumo de ATP se da en dos fases, en la primera, el ATP utilizado para mantener las condiciones del músculo es total o parcialmente reemplazado por la síntesis de ATP a través de la glucólisis. La segunda, se produce cuando los niveles de ATP empiezan a caer. La duración de la primera fase depende de la temperatura, con un máximo a los 10-15°C. A temperaturas mayores o menores, esta fase será más corta, lo cual reduce el tiempo del *rigor mortis*.

Si el músculo se enfría por debajo de los 10°C antes del *rigor mortis*, la carne es dura tras el cocinado. Este fenómeno se denomina como acortamiento por frío.

Debido a que la piel y las vísceras de animales sacrificados son fuentes potenciales de contaminación con bacterias patógenas, es importante un faenado y manejo de canales higiénicos. Esto con el objetivo de prevenir la contaminación de las partes comestibles de la canal con suciedad de la piel y del contenido de los órganos internos, así como inhibir el crecimiento microbiano en las superficies de la canal o de la carne.

Durante las operaciones iniciales de faenado, y a fin de minimizar la contaminación:

- Los animales sacrificados deberían de restregarse de todas las cerdas, pelo, caspa, cutículas y mugre;
- La tráquea y el esófago deberían permanecer intactos durante el desangrado;

- El desangrado debe ser tan completo como sea posible; si se pretende consumir la sangre, ésta tiene que ser recolectada y manejada de manera higiénica;
- Antes de extraer de la cabeza cualquier parte para el consumo humano, la cabeza tiene que estar limpia y desollada lo suficiente para facilitar la inspección y eliminación de partes específicas;
- La eliminación de la ubre se tiene que realizar de tal manera que los contenidos no contaminen la canal;
- Los cueros/pieles no deberán ser lavados, descarnados o acumulados en ninguna parte del matadero o establecimiento que se use para el sacrificio.

En todas las especies, se debe tener cuidado de no perforar ningún órgano, como la vejiga urinaria, vesícula biliar o algún otro órgano. Si esto pasa, la porción contaminada de la canal debe ser cortada. Todas las vísceras deben ser identificadas con la canal hasta que la inspección veterinaria haya pasado (<http://www.fao.org/3/y5454s/y5454s00.pdf>).

1.4. Congelación

El principio de conservación de los alimentos por el método de congelación es reducir la actividad de agua (a_w), reduciendo el agua disponible para las reacciones de deterioro y desarrollo microbiano. La congelación de la carne consiste en la aplicación de temperaturas por debajo de los 0°C generalmente -18°C (NOM-008-ZOO-1994), de forma que parte del agua contenida en los alimentos se convierte en hielo. Hay que destacar que después de la refrigeración, la congelación es el tratamiento que menos modificaciones produce en los alimentos.

El proceso de congelación en los alimentos es más complejo que la congelación del agua pura. Los alimentos al contener otros solutos disueltos además de agua, presentan un comportamiento ante la congelación similar al de las soluciones. La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación. La curva de congelación típica de una solución se muestra en la *Figura 5*.

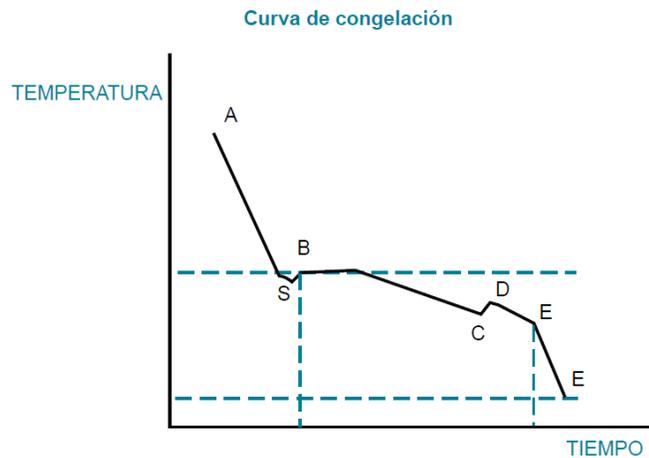


Figura 5. Curva de congelación

Fuente: Umaña, 2007

Esta curva posee las siguientes secciones:

- a) **AS:** el alimento se enfría por debajo de su punto de congelación inferior a 0°C . En el punto S, al que corresponde una temperatura inferior al punto de congelación, el agua permanece en estado líquido.
- b) **SB:** la temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, pues al formarse los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que este se extrae del alimento.
- c) **BC:** el calor se elimina a la misma velocidad que en las fases anteriores, eliminándose el calor latente con la formación de hielo, permaneciendo la temperatura prácticamente constante. El incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provoca el descenso del punto de congelación, por lo que la temperatura disminuye ligeramente. En esta fase es en la que se forma la mayor parte del hielo.

- d) **CD:** uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. La liberación del calor latente correspondiente provoca el aumento de la temperatura hasta la temperatura del soluto.
- e) **DE:** la cristalización del agua y los solutos continúa.
- f) **EF:** la temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende. En realidad, la curva de congelación de los alimentos resulta algo diferente a la de las soluciones simples, siendo esa diferenciación más marcada en la medida en que la velocidad a la que se produce la congelación es mayor (Umaña, 2007).

La cantidad de hielo presente en la carne es constante a una temperatura dada, pero el tamaño de los cristales depende de la clase de congelación (Ranken, 2003).

Diversas características de calidad están relacionadas con el tamaño de los cristales el cual es una consecuencia de la velocidad con que se produce la congelación. 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. La congelación prácticamente no provoca deterioro desde el punto de vista nutritivo.

La formación de cristales de hielo ocurre en dos etapas: la nucleación y el crecimiento de cristales. La nucleación es la iniciación de la congelación e implica la presencia de pequeños núcleos que son los centros de los cristales que se forman. El crecimiento de los cristales ocurre solo después de que los núcleos exceden un tamaño crítico.

El tamaño del cristal está directamente relacionado con el número de núcleos que se forman durante la congelación; la formación de pocos núcleos da como resultado pocos cristales grandes, mientras que el desarrollo de muchos núcleos produce muchos cristales pequeños. El tamaño de los cristales depende de la velocidad de congelación (Gutiérrez, 2014).

Durante el almacenamiento en congelación de la carne, la actividad química puede aumentar debido al incremento de la concentración de sustancias solubles como proteínas, carbohidratos y vitaminas. Las reacciones químicas que tienen lugar en la carne congelada pueden propiciar la oxidación de lípidos, lo que puede generar

un desagradable olor y sabor rancio. La oxidación de lípidos, además del color y el aroma, también puede cambiar el color, la textura y el valor nutritivo de la carne, teniendo efectos indeseables en la calidad.

El valor nutricional de la carne depende en gran parte del contenido de grasas y la composición de los ácidos grasos. El perfil de los ácidos grasos puede cambiar durante el almacenamiento continuo en congelación, teniendo un impacto negativo debido a la autooxidación y el incremento en la proporción de ácidos grasos saturados (Medić *et al.*, 2018).

El crecimiento microbiano depende de varios factores como la manipulación de los animales durante la matanza, la evisceración y otros procedimientos de producción, la producción y distribución de la carne, el método de preservación y el método de envasado. El crecimiento microbiológico es inhibido a los -12 °C, mientras que una inhibición total del metabolismo celular en tejidos animales ocurren a -18 °C. Durante el proceso de congelación, aproximadamente el 60% de la población microbiana muere, pero la presencia de los microorganismos restantes aumenta gradualmente. Las especies de microorganismos sobrevivientes encontrados en carne descongelada son prácticamente idénticas a las encontradas antes de la congelación, solo que en una cantidad ligeramente inferior. Más aún, el crecimiento de los microorganismos después de la descongelación aumenta hasta tal punto que su conteo puede alcanzar el valor inicial (Medić *et al.*, 2018).

1.4.1. Congelación lenta

Cuando la congelación es lenta (mecánica), la cristalización extracelular aumenta la concentración local de solutos, lo que provoca, por ósmosis, la deshidratación progresiva de las células. En esta situación se formarán grandes cristales de hielo aumentando los espacios extracelulares. Este desplazamiento de agua y la acción mecánica de los cristales de hielo sobre las paredes celulares provocan afecciones en la textura y dan lugar a la aparición de exudados durante la descongelación.

1.4.2. Congelación rápida

Cuando la congelación es rápida (ultracongelación) la cristalización se produce casi simultáneamente en los espacios extracelulares e intracelulares. El

desplazamiento de agua es pequeño, produciéndose un gran número de cristales pequeños y de aristas redondeadas. Por todo ello las afecciones sobre el producto resultarán considerablemente menores en comparación con la congelación lenta.

1.5. Descongelación

La descongelación es un proceso en el cual los cristales de hielo formado en la carne durante la congelación se funden por el aumento de la temperatura del medio, la finalidad de la descongelación es regresar al alimento a las condiciones más parecidas a su estado inicial mejor conocido como fresco (Código de prácticas para la elaboración y manipulación de los alimentos congelados rápidamente CAC/RCP 8-1976)

El proceso de descongelación consta de 3 etapas: 1) el atemperado, 2) descongelación y 3) calentamiento al punto de temperatura final.

El proceso de descongelación es considerablemente más tardado debido a que la conductividad térmica del agua (0.6 W/m K) es más baja que la del hielo (2.25 W/m K). Además, al descongelarse el hielo de la superficie del alimento, forma una película líquida que actúa como aislante. Estos tiempos prolongados de descongelamiento pueden propiciar el desarrollo bacteriano, reducir valores nutricionales, incrementar costos energéticos y generan gran cantidad de aguas residuales (Min *et al.*, 2016).

1.5.1. Efectos de la descongelación

Durante la descongelación, la carne puede ser dañada física y químicamente y tener daños sensoriales, dependiendo de las condiciones ambientales y métodos utilizados. Inevitablemente el deterioro en la calidad de la carne toma lugar durante el proceso de congelación, almacenamiento en congelación, y la subsecuente descongelación, resultando en la pérdida de peso, deterioro del color, pérdida de sabores, cambios en la textura, la desnaturalización de la miosina, la oxidación de lípidos y proteínas (Li *et al.*, 2014).

1.5.2. Métodos tradicionales

En la actualidad, la utilización de estos métodos está en función de su simplicidad y bajo costo. Los métodos tradicionales son más tardados, resultando en el deterioro de calidad.

Estos métodos son

- a) Aire, a alta o baja velocidad
- b) Temperatura ambiente (cámara climatizada)
- c) Agua, fría o caliente
- d) Refrigeración

1.5.2.1. Refrigeración

En años recientes, la descongelación por refrigeración ha sido ampliamente utilizada en la industria de la carne debido a que la baja temperatura de este método es útil para prevenir el deterioro microbiológico y reduce las pérdidas de calidad durante el proceso de descongelación (Okamoto & Suzuki, 2002). También está reportado que el método de descongelación en refrigeración tiene menor impacto perjudicial en la calidad de la carne comparada con otros métodos (Xia *et al.*, 2012).

1.5.2.2. A temperatura ambiente

Algunas formas de descongelar alimentos, como dejarlos fuera del refrigerador a temperatura ambiente, no son seguras, ya que a temperatura ambiente las bacterias que producen enfermedades de origen alimenticio se desarrollan con facilidad (www.seguridadalimentaria.posadas.gov.ar). Sin embargo, aún es utilizado debido al bajo costo.

1.5.3. Nuevas tecnologías.

El aumentar la tasa de descongelación de un producto con la finalidad de minimizar los cambios en los atributos de calidad, ha sido el motivo del desarrollo de nuevas tecnologías para descongelar alimentos.

Estos métodos incluyen:

- a) Descongelación acústica
- b) Descongelación por microondas
- c) Descongelación por altas presiones
- d) Descongelación óhmica

1.5.3.1. Descongelación por ultrasonido

Actualmente, el empleo de ultrasonido (US) en el procesamiento de alimentos está basado en la ventaja que representa sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso y mejorar atributos de calidad (Robles & Ochoa, 2012).

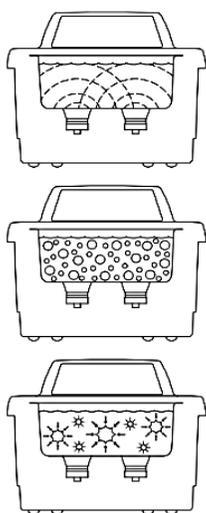
Por definición el US es una vibración mecánica que excede los 20 kHz. Esta tiene la ventaja de ser no invasiva y puede ser enfocada en un haz con una fuerte penetración de tejidos (Huang *et al.*, 2017).

Las aplicaciones de las ondas ultrasónicas se dividen por lo general en dos grupos: baja (rango de kHz) y elevada intensidad rango (MHz), según Mason (1998).

Las aplicaciones de baja intensidad son aquellas cuyo objetivo es obtener información acerca del medio de propagación sin producir ninguna modificación en su estado. Por el contrario, las aplicaciones de elevada intensidad son aquellas en la que la energía ultrasónica se utiliza para producir cambios permanentes en el medio tratado.

La mayoría de los productos alimenticios que se descongelan lo hacen a una velocidad lenta y esto puede generar consecuencias económicas altas por lo cual es un inconveniente tanto a pequeña como a mediana escala. En el caso del uso de US para esta operación se ha estudiado desde hace 50 años, pero aspectos como la pobre penetración, el calentamiento localizado y alta potencia requerida, disminuyeron el desarrollo de este método. Actualmente se han desarrollado trabajos basados en el mecanismo de relajación, que han mostrado que mayor cantidad de energía acústica puede ser absorbida por alimentos congelados cuando se aplica la frecuencia precisa de relajación sobre los cristales de hielo en el alimento. Al respecto se ha observado que este tipo de descongelado toma menor tiempo que al emplearse el descongelado tradicional conductivo.

La generación de US se fundamenta en la deformación elástica de materiales ferroeléctricos, dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia y es causada por la mutua atracción de las moléculas polarizadas en el campo (Raichel, 2000). Estas moléculas se polarizan transmitiendo una frecuencia alternante mediante dos electrodos hasta el material ferroeléctrico. Después se obtiene la conversión a oscilación mecánica y el sonido puede ser transmitido a un amplificador para finalmente transmitirse al medio. El US es generado por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores. El funcionamiento del baño ultrasónico se muestra en la *Figura 6*.



A medida que las ondas de sonido del transductor se irradian a través de la solución en el tanque, se produce una alternancia de presiones altas y bajas en la solución.

Durante la fase de baja presión, millones de burbujas microscópicas se forman y crecen. Este proceso es llamado CAVITACIÓN, que significa “formación de cavidades”

Durante la fase de alta presión, las burbujas colapsan, o “implosionan” liberando grandes cantidades de energía.

La misma energía puede ser utilizada para otras aplicaciones, por ejemplo, la disolución de líquidos, homogenizaciones, y degasificado.

Figura 6. Funcionamiento del baño ultrasónico

Fuente: Manual de operación del equipo

1.5.3.2. Descongelación por microondas

En los últimos 10 años el uso de microondas (MO) ha encontrado muchos campos industriales de aplicación en los alimentos (Cano, 2008). El descongelamiento por microondas, que involucra el efecto de polarización de la radiación electromagnética en un rango de 300 MHz a 300 GHz, ha sido ampliamente utilizado con varios propósitos como el calentamiento, recalentamiento, secado, esterilización descongelación de alimentos. Este método es utilizado debido a su velocidad, eficiencia, conveniencia y la uniformidad de calentamiento (Taher & Farid, 2001).

Las MO se encuentran entre la radiación infrarroja y las ondas de radio (*Figura 7*). La energía de esta radiación (1.2×10^{-5} electronvoltios) no produce daño en la materia orgánica. Durante el tratamiento con energía de microondas se ha comprobado que se conserva el color, pero en otros casos, los componentes de los alimentos bajo tratamiento con microondas sufren modificaciones en su estructura, por ejemplo, la desnaturalización de las proteínas (Jiménez *et al.*, 2001).

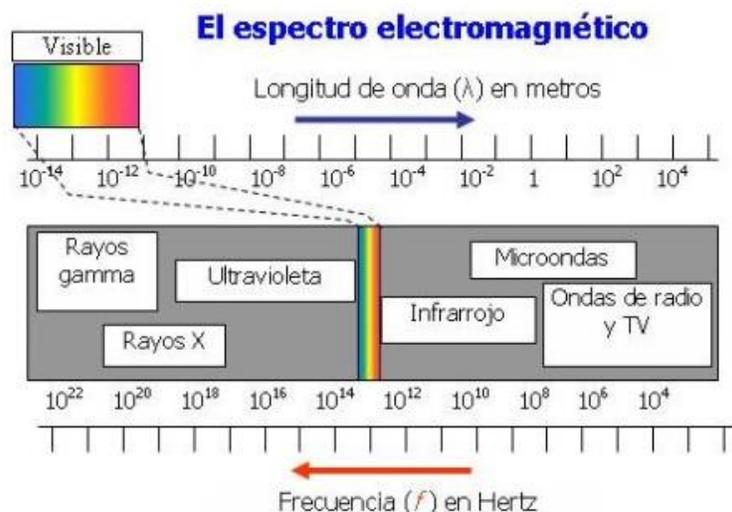


Figura 7. Longitud de onda del espectro electromagnético correspondiente a las microondas

Fuente: <https://akonciencia.wordpress.com>

Reducir el tiempo de descongelación minimiza el crecimiento microbiológico, así como la deterioración en las características físicas y la pérdida excesiva de agua por deshidratación o pérdidas por goteo. Las microondas pueden descongelar rápidamente pequeñas piezas de carne, pero pueden presentar dificultades con masas grandes de carne congelada usadas en procesos industriales. La descongelación no ocurre de manera uniforme, y algunas partes de la carne se cocinan mientras otras siguen congeladas (Taher, 2001).

Están involucrados principalmente dos mecanismos: el dieléctrico y el iónico. El agua es el principal responsable del calentamiento dieléctrico. Por su naturaleza bipolar, las moléculas de agua tratan de alinearse al campo electromagnético asociado con la radiación electromagnética conforme oscila a frecuencias muy altas.

Estas oscilaciones de las moléculas del agua producen calor. El segundo mecanismo es a través de la migración oscilatorio de iones en el alimento que genera calor bajo la influencia del campo eléctrico.

Aunque son varios los componentes de un horno de microondas, su funcionamiento se basa principalmente en tres de ellos:

Magnetron. Convierte la energía eléctrica en energía de microondas de alta frecuencia. Es un diodo termoiónico que posee un ánodo y un calentado directamente (Michael *et al.*, 1997).

Sistema guiador de ondas. Es un acoplador y sintonizador direccional que guía la energía de microondas al punto de aplicación. Garantizando mayor eficiencia, así como una larga vida del magnetron.

Cámara de tratamiento. Es donde se expone el alimento a las microondas, cuyo centro se encuentra acoplado al sistema guiador de ondas y que se encuentra aislado (Jiménez *et al.*, 2001)

1.6. Evaluación de las propiedades físicas y fisicoquímicas

La calidad de la carne bovina está particularmente definida por su composición química y por sus características sensoriales tales como su aspecto, color, la ternura, el sabor y la jugosidad, entre las principales. El sistema de producción, el tipo de animal, la dieta nutricional ofrecida y el manejo pre y post faena, modifican considerablemente estas características (San Román, 2015).

1.6.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas están estrechamente relacionadas con la calidad sensorial de la carne de bovino, es decir los atributos del producto que se captan con los órganos de los sentidos (Huerta y Rodas, 1998).

1.6.1.1. Parámetros de perfil de color (PPC)

El color es el factor que más afecta el aspecto de la carne y el que más influye en la preferencia del cliente.

El color se ve influido principalmente por la composición de la atmósfera en la que se encuentra almacenado el producto. Cuando se tienen condiciones anaerobias, el color de la carne es púrpura debido al estado reducido de la mioglobina. En presencia de aire, el color natural de la carne fresca es rojo brillante debido a la presencia de oximioglobina, que es la forma reducida de la mioglobina en presencia de oxígeno.

El color se puede evaluar a partir de las coordenadas fijadas por la comisión Internacional de Iluminación (CIE): luminosidad (L^*) cromaticidad verde-rojo (a^*) y cromaticidad amarillo-azul (b^*) como se muestra en la *Figura 8*. El espectrofotómetro es el instrumento básico para medir el color que facilita la obtención de resultados completamente objetivos. Sus mediciones dependen sólo de las características de la luz reflejada por la muestra, independientemente de las características del observador. En este tipo de sistema, la muestra se ilumina esencialmente con luz monocromática, y se mide la luz difusa reflejada en cada longitud de onda del espectro visible; la cantidad de luz reflejada por la muestra se expresa como porcentaje de la reflectancia difusa, a la misma longitud de onda, de un estándar de referencia blanco (AMSA, 2012).

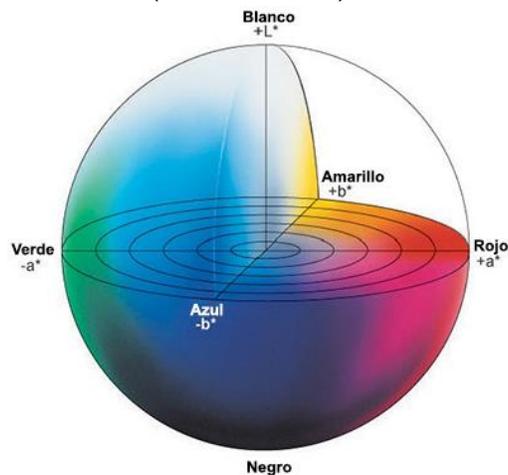


Figura 8. Esfera cromática

Fuente: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

1.6.1.2. Dureza

La textura es un factor muy importante en la selección y preferencia de los alimentos por parte del consumidor y además es reconocida como el mayor atributo de su calidad. Las mediciones de la dureza por compresión se basan en el principio de que una carga, con una determinada área, comprime un cuerpo. La deformación producida por la compresión depende de la geometría con la que se realice, y la dureza estará relacionada inversamente con la deformación producida (Hernández & Díaz, 2008). Este método se considera útil para la medición de la dureza. Otro método de medición con el cual se puede determinar el grado de dureza de producto, es por medio del Análisis de Perfil de Textura (TPA) en el cual el producto es sometido a una doble compresión con el objetivo de simular el proceso de masticación humana (Zúñiga *et al.*, 2007)

1.6.2. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas también están muy relacionadas con la calidad sensorial de la carne de bovino, en especial en lo referente a la textura.

1.6.2.1. pH

El pH es un valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presentes en una disolución. Tiene una escala entre 0 y 14. Un valor de pH por debajo de 7 es considerado como ácido, y por encima de un valor de 7 se considera alcalino o también denominado básico (Zimerman, 2008).

Una vez ocurrido el sacrificio del animal, se lleva a cabo el proceso de transformación del músculo en carne: La carne es el resultado de dos cambios bioquímicos que ocurren en el periodo *post-mortem*: el establecimiento del *rigor mortis* y la maduración. El principal proceso que se lleva a cabo durante el establecimiento del *rigor mortis* es la acidificación muscular.

En un músculo en reposo, el adenosín tri-fosfato (ATP) sirve para mantener el músculo en estado de relajación. Tras la muerte del animal, cesa el aporte sanguíneo de oxígeno y nutrientes al músculo, de manera que el mismo debe utilizar

un metabolismo anaeróbico para transformar sus reservas de energía (glucógeno) en ATP con el fin de mantener su temperatura e integridad estructural. El ATP formado se obtiene a través de la degradación del glucógeno en ácido láctico. Este último ya no puede ser retirado por el sistema sanguíneo, por lo tanto, va a provocar el descenso del pH muscular (Zimerman, 2008).

Tanto el valor final del pH, que es medido aproximadamente a las 24 horas después del sacrificio, como la velocidad de caída el mismo durante la transformación del músculo en carne, afectan las características sensoriales y tecnológicas de la carne.

El descenso del pH depende del tipo de fibras que predominan en el músculo y de la actividad muscular antes del sacrificio. Así, los músculos con predominio de fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan valores finales de 5.5, mientras que en los músculos en donde predominan las fibras de contracción lenta (rojas) el pH no baja de 6.3 (Zimerman, 2008).

1.6.2.2. Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA es un parámetro fisicoquímico importante en la contribución de la calidad de la carne y productos derivados. Muchas de las propiedades sensoriales como el color, la textura y la firmeza, están relacionadas con la cantidad de agua retenida en sistema cárnico. Dicha retención de agua se produce a nivel de las cadenas actino-miosina.

Los cambios en la CRA afectan al agua que se denomina “inmovilizada” y no tienen ninguna relación con el “agua de constitución” (fuertemente ligada a grupos específicos de la molécula o ubicada en regiones intersticiales) ni tampoco con el “agua de interfase”; es decir, con el “agua ligada” (Apple *et al.*, 2013).

La CRA es causada en primer lugar por una inmovilización de agua de los tejidos en el sistema miofibrilar, más específicamente el agua es retenida en el músculo o producto muscular por una acción capilar que es generada por pequeños poros o capilares, teniendo en cuenta que además que las miofibrillas ocupan aproximadamente el 70% del volumen total de la masa molecular; esto significa que

una notable parte del agua inmovilizada debe estar localizada en los filamentos gruesos y entre los filamentos gruesos y finos de las miofibrillas.

Por otra parte, cambios en la CRA son un indicador muy sensible de los cambios en la estructura de las proteínas miofibrilares. Así la desnaturalización de las proteínas disminuye la CRA (Apple *et al.*, 2013).

Nutricionalmente, una baja CRA resulta en pérdidas importantes de agua, que acarrearán, proteínas, minerales y vitaminas hidrosolubles. Desde el punto de vista industrial, la capacidad de una carne para retener el agua originalmente contenida, así como el agua que se añada durante los procesos industriales, influye en la eficiencia del sistema y dicta en parte el rendimiento final del producto.

1.6.2.3. Actividad de agua (a_w)

La a_w es la relación de la presión parcial del vapor de agua en un alimento con la presión parcial de saturación del vapor en el aire a la misma temperatura. Esto es igual a la humedad relativa del aire en equilibrio con el alimento. La a_w describe el estado de energía del agua contenida en un alimento, y por lo tanto su potencial para actuar como solvente y participar en reacciones químicas/bioquímicas y el crecimiento de microorganismos. Es una propiedad importante que es utilizada para predecir la estabilidad y la inocuidad de un alimento con respecto al crecimiento microbiano, las tasas de reacciones de deterioración y de las propiedades físicas/químicas.

En otras palabras, la a_w es la cantidad de agua libre que hay disponible en un alimento para reacciones de deterioro. La medición de la a_w en carne y productos cárnicos es muy importante, ya que su valor influye en diferentes reacciones químicas, en la actividad enzimática, así como en el desarrollo de los microorganismos.

En la *Figura 9* se aprecian tres zonas hipotéticas en las que se puede dividir el agua contenida en un producto. La que integra la zona III se considera “libre”, se encuentra en macrocapilares y forma parte de las soluciones que disuelven

sustancias de bajo peso molecular, es la más abundante, fácil de congelar y evaporar, y su evaporación reduce la actividad de agua a 0.8.

En la zona II el agua se localiza en diferentes capas más estructuradas y en microcapilares, es más difícil de quitar que la anterior, pero al lograrlo se obtiene actividad de agua de 0.25. Esta fracción junto con la monocapa corresponde al “agua ligada”.

La zona I equivale a la capa monomolecular y es la más difícil de eliminar; en algunos casos se puede reducir parcialmente en la deshidratación, pero no es recomendable, ya que, además de que se requiere mucha energía y se daña el alimento, su presencia ejerce un efecto protector sobre todo contra las reacciones de oxidación de lípidos, porque actúa como barrera del oxígeno (Badui, 2006).

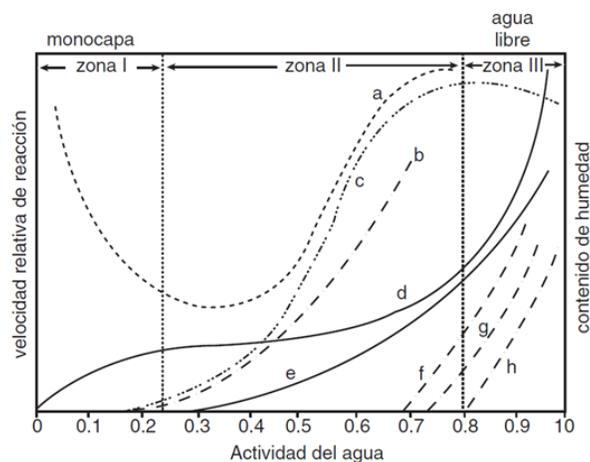


Figura 9. Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua

a) Oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras; y h) crecimiento de bacterias.

Fuente: Badui, 2006

Los instrumentos utilizados para su determinación se denominan higrómetros. En este caso, se cuenta con un higrómetro de punto de rocío, el cual mide la temperatura exacta de condensación del vapor de agua que se encuentra directamente relacionada con la presión de vapor del alimento y por lo tanto con la a_w (Fontana *et al.*, 2000).

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día para la comercialización de diversos productos de tipo alimentario, la calidad juega un papel de suma importancia, ya que la percepción que tiene el consumidor determina si adquirirá o no dicho producto.

Debido al crecimiento de las poblaciones, es importante el desarrollo de métodos que permitan la conservación por prolongados tiempos, y la posterior distribución y utilización de los productos alimenticios, y que a su vez minimicen los cambios en comparación con los productos frescos.

En diversos estudios se habla de la importancia de la congelación en los productos cárnicos y sus efectos en los atributos de calidad. En estos estudios se ha concluido que la mayor parte del deterioro viene en función de ciclos de congelación-descongelación llevados a cabo de manera inadecuada. En dónde la velocidad de los procesos influye en el deterioro y su consiguiente pérdida de calidad, debido al daño producido por las características de los cristales de hielo formados durante la congelación, así como los daños mecánicos producidos por la expansión del volumen del agua al pasar de estado líquido a sólido. Asimismo, la velocidad de descongelación influye en la pérdida de agua del producto, cambiando su composición y alterando principalmente las interacciones agua-proteína.

Por este motivo, este proyecto busca realizar una comparación de algunos métodos de descongelación, tanto tradicionales (descongelación a temperatura ambiente y en refrigeración) como nuevas tecnologías (descongelación mediante microondas y ultrasonido) mediante la evaluación del impacto en algunos parámetros de calidad en la carne de bovino.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes métodos de descongelación, mediante la determinación de los parámetros de perfil de color (PPC), la dureza, el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y la a_w , para establecer cual tiene el menor impacto en la calidad en carne de bovino almacenada en cámara durante ocho años.

Objetivo particular 1

Fundamentar el efecto de la descongelación en refrigeración (4°C) y a temperatura ambiente (25°C) mediante la determinación de los parámetros de perfil de color (PPC), la dureza, el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y la a_w , para valorar el impacto en la calidad de carne de bovino almacenada en cámara durante ocho años.

Objetivo particular 2

Comparar el efecto de la descongelación mediante el uso de microondas y ultrasonido de alta frecuencia, mediante la determinación de los parámetros de perfil de color (PPC), la dureza, el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y la a_w , para valorar el impacto en la calidad de carne de bovino almacenada en cámara durante ocho años.

Objetivo particular 3

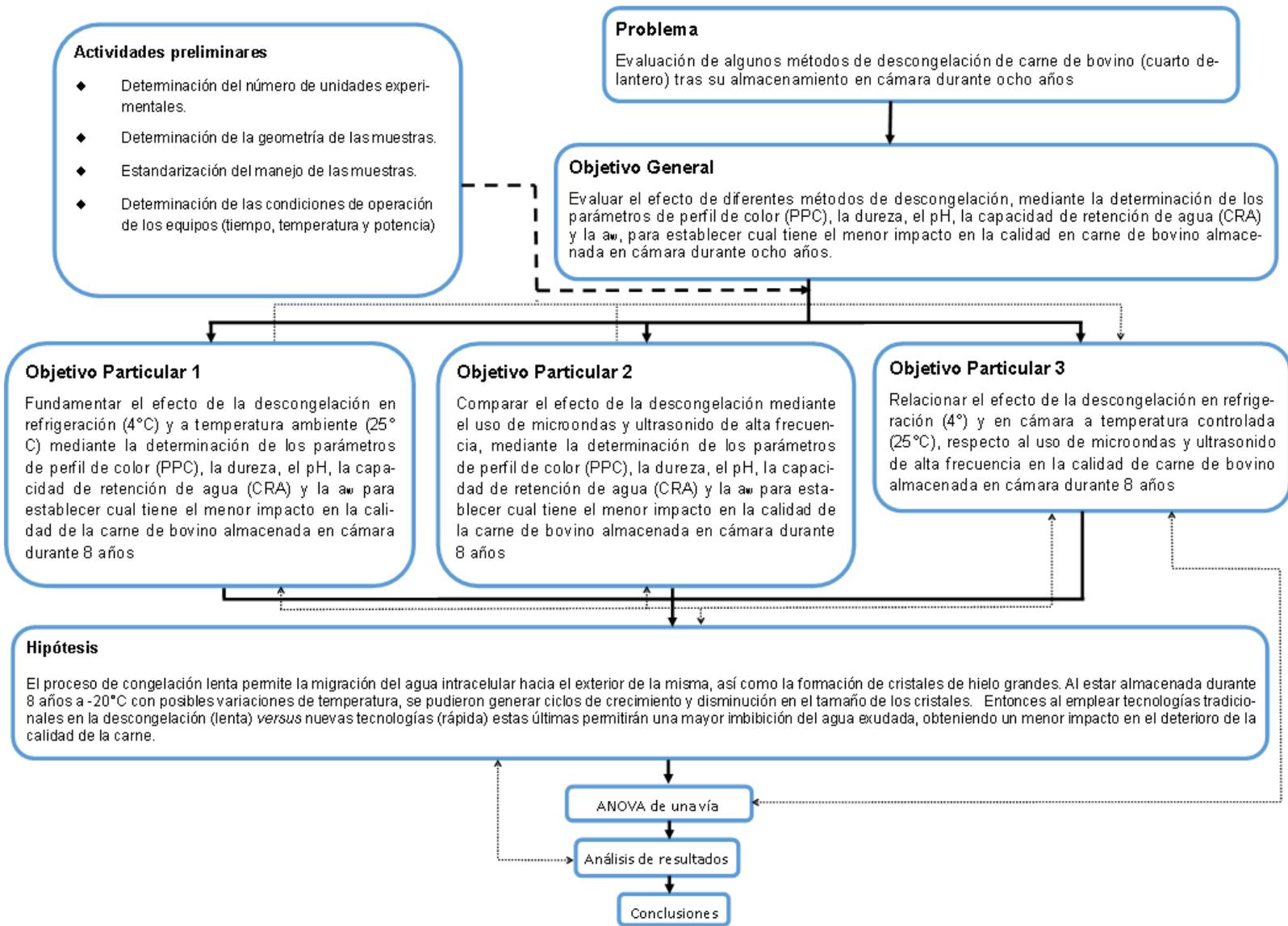
Relacionar el efecto de la descongelación en refrigeración (4°C) y en cámara a temperatura controlada (25°C), respecto del uso de microondas y ultrasonido de alta frecuencia en la calidad de carne de bovino almacenada en cámara durante ocho años.

Hipótesis

El proceso de congelación lenta permite la migración del agua intracelular hacia el exterior de la misma, así como la formación de cristales de hielo grandes. Al estar almacenada durante 8 años a -20°C con posibles variaciones de temperatura, se pudieron generar ciclos de crecimiento y disminución en el tamaño de los cristales. Entonces al emplear tecnologías tradicionales en la descongelación (lenta) *versus* nuevas tecnologías (rápida) estas últimas permitirán una mayor imbibición del agua exudada, obteniendo un menor impacto en el deterioro de la calidad de la carne.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Cuadro metodológico



2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Actividades preliminares

Se llevaron a cabo tres actividades preliminares, con las cuales fue posible el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados.

2.2.1.1. Determinación de la geometría de las muestras

Se determinó una geometría que permitiera la obtención de unidades experimentales con un tamaño apropiado para la posterior evaluación de algunos de los parámetros físicos y fisicoquímicos. Quedando como se muestra en la *Figura 10*.

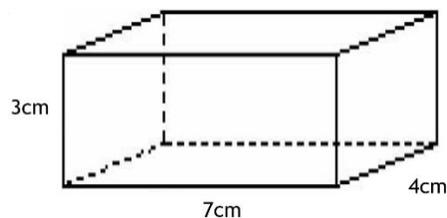


Figura 10. Geometría y dimensiones aproximadas de las unidades experimentales

2.2.1.2. Estandarización del manejo de las muestras

La materia prima fue un bloque aproximadamente fue cuatro kilogramos de carne de bovino, envasada al vacío y congelada durante 8 años a -20 ± 2 °C. La cual fue transportada hasta el Taller de Cárnicos de la FESC en una hielera que contenía una cama de hielo, encima el bloque de carne y por último capa de hielo. Una vez allí se procedió al corte de la carne, de acuerdo a la geometría establecida, e inmediatamente fueron envasados al vacío y colocados en la hielera para su transporte de regreso al laboratorio 7 de la UIM (*Figura 11*).



Figura 11. Estandarización de las muestras

2.2.1.3. Condiciones de operación de los equipos (tiempo, temperatura y potencia)

Para establecer las condiciones de operación de los diferentes equipos, se utilizó como materia prima un bloque de cuete de res de 0.210kg (*Figura 12*), el cual fue envasado al vacío y congelado en cámara a -20 ± 2 °C.



Figura 12. Muestra de cuete de res

2.2.1.3.1. Refrigeración

El equipo utilizado fue un enfriador vertical de cuatro puertas con circulación forzada de aire marca Torrey, modelo R36L-4P (*Figura 13*).



Figura 13. Refrigerador vertical de 4 puertas

Se dividió el refrigerador en 4 cuadrantes (*Figura 14*) para determinar el que presentaba mejor estabilidad de temperatura. Para lo cual se colocó un termómetro en cada zona y se registró la temperatura de cada uno durante 90 minutos, en intervalos de cinco minutos.

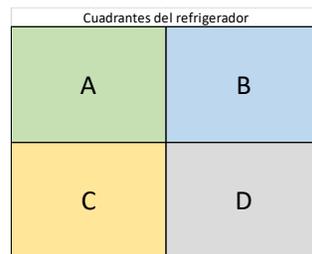


Figura 14. Diagrama de cuadrantes del refrigerador vertical de 4 puertas

Después de realizar las pruebas de la estabilidad de la temperatura se eligió el cuadrante que presentaba los datos más homogéneos, en este caso fue el cuadrante A, con una temperatura promedio de 4.5°C.

Para determinar el tiempo que tardaba en descongelarse, la muestra de 0.210 kg fue introducida al refrigerador y se monitoreó la temperatura cada 10 minutos hasta que terminó el proceso, resultando en un tiempo de aproximadamente 3 horas y 45 minutos.

2.2.1.3.2. Cámara climática

Para la descongelación de carne de res a temperatura ambiente se utilizó una cámara climática marca Binder KFB115.



Figura 15. Cámara climática Binder

Se utilizó a una temperatura de 25°C y una humedad relativa del 70%. El proceso duró 60 minutos.

Cuadro 2. Temperatura y humedad relativa promedio

	T (°C)	HR
\bar{X}	24.55	70.94
σ	0.30	1.34
C. V.	1.22	1.89

2.2.1.3.3. Ultrasonicación

Se usó un baño ultrasónico marca Cole-Parmer, modelo 08891-21 con potencia de 42 kHz. Se llenó la tina con agua destilada y se colocaron dos bolsas de geles refrigerantes congelados en el equipo, para eliminar el aumento de la temperatura debido al efecto del calor producido por las ondas ultrasónicas (*Figura 16*).



Figura 16. Baño ultrasónico Cole-Parmer

Para descongelar la muestra fueron requeridos dos ciclos de 10 minutos como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tiempo necesario para descongelar la muestra de 210 g con ultrasonido

Ciclo	T (min)	T del medio (°C)
1	10	10 (± 2)
2	10	10 (± 2)
Total	20	10 (± 2)

2.2.1.3.4. Para microondas

Para esta actividad se utilizó un microondas doméstico marca LG modelo MS-1556VQ, con una frecuencia de 2450 MHz y una salida de 1150 W (Figura 17). para la descongelación de la muestra se utilizó la potencia al 20% (230 W) que era la más cercana a la potencia de 250 W recomendada por Kim *et al.* (2011).



Figura 17. Microondas casero LG

El proceso de descongelación se llevó a cabo en tres ciclos de un minuto para evitar la cocción de la carne, el último ciclo fue de 30 segundos (*Cuadro 4*)

Cuadro 4. Tiempo necesario para descongelar la muestra de 210g con microondas

Ciclo	T (min)
1	1
2	1
3	1
4	0.5
Total	3.5

2.2.2. Métodos de descongelación

Se realizaron cuatro tratamientos diferentes para el proceso de descongelación, dos fueron tratamientos tradicionales (refrigeración y temperatura ambiente) y dos nuevas tecnologías (ultrasonificación y microondas). El método de refrigeración fue el control, ya que en diversos estudios reportan menor impacto perjudicial en la

calidad de la carne en comparación con otros métodos (Okamoto and Suzuki, 2002; Xia *et al.*, 2012).

2.2.2.1. Descongelación por refrigeración

Para la descongelación de las unidades experimentales, se introdujeron las unidades experimentales en el enfriador vertical de cuatro puertas marca Torrey durante un lapso de 24 horas (*Figura 18*) a una temperatura promedio de 4.5 ± 1.41 °C. Esto fue llevado a cabo con tres unidades experimentales, una a la vez, para la posterior evaluación de algunos de sus parámetros físicos y fisicoquímicos.



Figura 18. Descongelación por refrigeración

2.2.2.2. Descongelación en cámara climática

La muestra fue introducida en una cámara climática marca Binder durante noventa minutos a una temperatura de 25 °C y HR del 70% (*Figura 19*) Esto fue llevado a cabo con tres unidades experimentales, una a la vez, para la posterior evaluación de algunos de sus parámetros físicos y fisicoquímicos.



Figura 19. Descongelación en cámara climática

2.2.2.3. Descongelación por ultrasonido

Para el tratamiento de descongelación por ultrasonido, las muestras experimentales fueron inmersas en el baño ultrasónico marca Cole-Parmer con agua destilada y dos bolsas de gel refrigerante (*Figura 20*). Debido al espesor de las muestras experimentales fueron requeridos 28 minutos de ultrasonicación. Esto fue llevado a cabo con tres unidades experimentales, una a la vez, para la posterior evaluación de algunos de sus parámetros físicos y fisicoquímicos.



Figura 20. Descongelación por ultrasonicación

2.2.2.4. Descongelación por microondas

Las muestras fueron introducidas en un microondas doméstico marca LG durante tres lapsos de un minuto y el último de 30 segundos, con una potencia de 230w (nivel de potencia 20%) para evitar que se cocinara la muestra con el calor generado por la interacción de las microondas con el agua de la carne (*Figura 21*). Esto fue llevado a cabo con tres unidades experimentales, una a la vez, para la posterior evaluación de algunos de sus parámetros físicos y fisicoquímicos.



Figura 21. Descongelación por microondas

2.2.3. Evaluación de carnes descongeladas

2.2.3.1. Parámetros de perfil de color (PPC)

Se utilizó un espectrofotómetro de reflectancia Konica Minolta CM-600d (USA), siguiendo la metodología descrita por AMSA (Meat color measurement guidelines, 2012). Los parámetros registrados son L^* , a^* , b^* % de reflectancia.

Para calibrarlo, primero se tomó una lectura al medio ambiente donde se tomaron los datos, con el fin de obtener las condiciones del lugar donde se realizaron las mediciones (*Figura 22*).



Figura 22. Espectrofotómetro Konica Minolta CM-600d

Después se realizó una calibración en blanco, cubriendo el orificio de medición con un capuchón diseñado con ese fin (*Figura 23*).



Figura 23. Capuchón de calibración (Espectrofotómetro Konica Minolta CM-600d)

La medición de color se realizó por triplicado en tres puntos diferentes de la muestra, aproximadamente un minuto después de abierto en envase de vacío. Para este fin, se colocó un cuarzo antirreflejante sobre la superficie de la muestra y el espectrofotómetro se presionó sobre la muestra. Se tomó la lectura directa como se muestra en la *Figura 24*. Al finalizar las lecturas se limpió el lente de cuarzo.



Figura 24. Medición de los parámetros de perfil de color

2.2.3.2. pH

Se utilizó un potenciómetro Orion Five Star, modelo 9121APWP, con un electrodo Kniphe, con cuchilla de punción y el método 981.12 descrito en el AOAC (2000). Se obtuvo la muestra y se realizó la medición como se observa en la *Figura 25*. Se esperó a que la lectura se estabilizara. Para finalizar se retiró la cuchilla del electrodo y se limpiaron con agua destilada. La lectura se tomó por triplicado.



Figura 25. Medición de pH con potenciómetro Orion Five Star

2.2.3.3. Actividad de agua (a_w)

Se utilizó un higrómetro de punto de rocío marca Decagon Devices modelo Pa_wkit (USA) y se siguió el método 978.18 del AOAC (2000). Se cortó una rebanada de carne y se colocó en el fondo de la celda Aqualab, sin rebasar la mitad de su altura. La lectura se tomó por triplicado de manera directa (*Figura 26*).



Figura 26. Determinación de a_w con higrómetro de punto de rocío Pawkit

2.2.3.4. Dureza

La dureza se determinó con un penetrómetro marca Fruit Pressure Tester ft327 al cual se le incorporó una punta cilíndrica de 11 mm de diámetro unido a un resorte calibrado y un indicador analógico que registra la presión ejercida manualmente para que el dispositivo penetre la muestra. La lectura se tomó al presionar la punta contra la muestra. La lectura se tomó por triplicado de manera directa (*Figura 27*).



Figura 27. Medición de dureza con penetrómetro con punta de 11 mm

2.2.3.5. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se utilizó una centrífuga refrigerada Centurion Scientific K2015R. Se preparó solución de NaCl 0.6M. Se pesaron en un vidrio de reloj 5 g de muestra y se colocaron en tubos Falcon de 15 mL, se les añadieron 5 mL de la solución salina y se agitaron durante 30 s. Se equilibraron los tubos en una balanza de dos platos y se centrifugaron a 4 °C, durante 30 minutos a 4000 rpm (*Figura 28*).

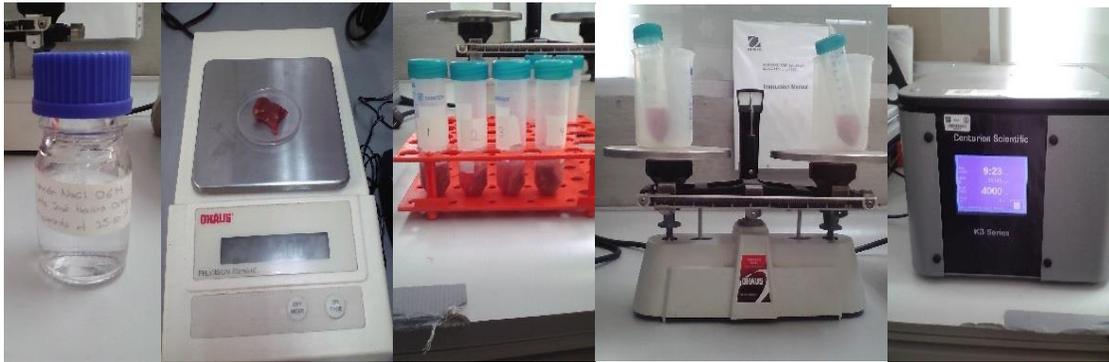


Figura 28. Determinación de la capacidad de retención de agua

Se midió el volumen sobrenadante, mediante el uso de un embudo y una probeta de 10 mL como se muestra en la *Figura 29*.



Figura 29. Medición del volumen sobrenadante

2.3. Diseño experimental

Los valores de parámetros de perfil de color, pH, actividad de agua, capacidad de retención de agua y dureza fueron obtenidos experimentalmente por triplicado, utilizando tres muestras para cada tratamiento (refrigeración, ultrasonicación, cámara climática y microondas). Las propiedades evaluadas fueron analizadas mediante un ANOVA de una vía empleando el software Minitab versión 16.2.0 para hacer una comparación del impacto de los métodos de descongelación en la calidad de la carne, usando como control el método de refrigeración.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estudios realizados por Baron *et al.*, 2007; Eymard *et al.*, 2009; Srinivasan & Hultin, 1995, han demostrado que la duración del almacenamiento en congelación tiene un fuerte impacto en la oxidación de proteínas en la carne de pollo, los cuales demostraron ser consistentes con diferentes hallazgos, Mercier *et al.*, 1998; Renerre *et al.*, 1999, quienes reportaron proteínas oxidadas durante el almacenamiento en congelación de peces y carne de pavo. De hecho, cuando las proteínas son atacadas por especies reactivas de oxígeno, esta interacción conduce a la generación de compuestos carbonílicos y a la pérdida de grupos sulfhidrilo de la proteína (Sover & Hultin, 2000; Stadman, 1990; Xione, 2000).

3.1. Parámetros de Perfil Color

El color juega un papel importante en la apariencia, presentación y aceptabilidad de la carne congelada. Generalmente, los cambios de color pueden ocurrir durante el almacenamiento en congelación debido a la oxidación de los lípidos y al proceso de degradación del pigmento (Dias *et al.*, 1994) como es mencionado anteriormente.

Thanonkaew, Beniakul y Visessanguan (2006) encontraron que, en carnes congeladas-descongeladas durante cinco ciclos, el valor de a^* se redujo de 20.00 a 11.65, y que los valores de L^* y b^* se incrementaron de 48.35 a 65.09 y de 18.21 a 21.73 respectivamente. El incremento en la oxidación de lípidos en la carne de cerdo durante los ciclos de congelación-descongelación demostró estar relacionada con el aumento del valor b^* . Estos autores también demostraron que, en la carne de cerdo, la disminución de en el valor de a^* (color rojo) y el incremento en los valores de L^* y b^* (color amarillo) de todas las muestras se observaron con el incremento de la formación de especies reactivas determinadas por la técnica del ácido tiobarbitúrico (TBARS).

En comparación, los valores de L^* y b^* encontrados durante este estudio, fueron más bajos que los reportados por Thanonkaew *et al.* (2006), debido probablemente a que la carne utilizada estuvo envasada al vacío y mantenida en congelación, reduciendo de este modo el efecto de oxidación mediante la aplicación de vacío durante ocho años.

En este proyecto los resultados obtenidos de los parámetros de perfil de color se analizaron mediante un ANOVA de una vía para obtener una comparación del efecto del método de descongelación, utilizando como control la muestra descongelada por refrigeración. Se aplicó un nivel de confianza de 95% ($\alpha=0.05$) se plantearon las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_{REF} = \mu_{US} = \mu_{CC} = \mu_{MO}$$

H_1 : Al menos una μ es diferente

3.1.1. L^*

La luminosidad representa la escala cromática de grises que va de blanco al negro.

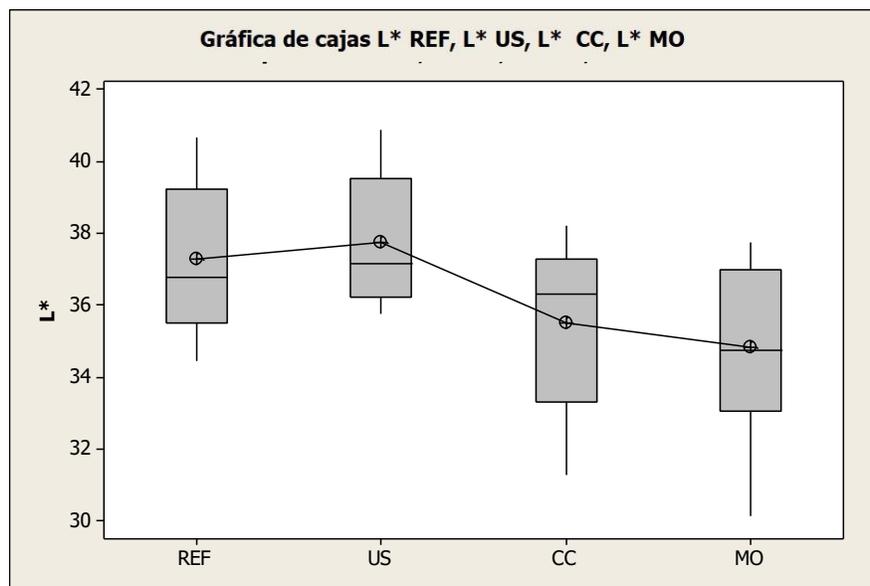


Figura 30. ANOVA del parámetro L^* con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

Como se puede observar en la Figura 30, hubo una diferencia en la apariencia visual de las muestras entre las muestras tratadas en refrigeración y con ultrasonido con respecto a las tratadas en cámara climática y por microondas. El tratamiento de descongelación por microondas presentó una mayor diferencia estadísticamente significativa en el valor de L^* con respecto a los otros métodos (Figura 30), por lo que se rechaza H_0 ($P>0.05$). Esto debido a que el agua en la superficie de la muestra

descongelada influye en la reflexión de la luz (Li *et al.*, 2014). Probablemente el valor de L^* fue significativamente más bajo para el tratamiento de microondas debido a que en la superficie de la muestra había menos agua, ya que los demás métodos requieren más tiempo para descongelar la muestra, por lo que al momento de realizar la prueba había más agua en la superficie de la misma.

3.1.2. a^*

El parámetro a^* representa la variación de color entre rojo ($+a^*$) y verde ($-a^*$).

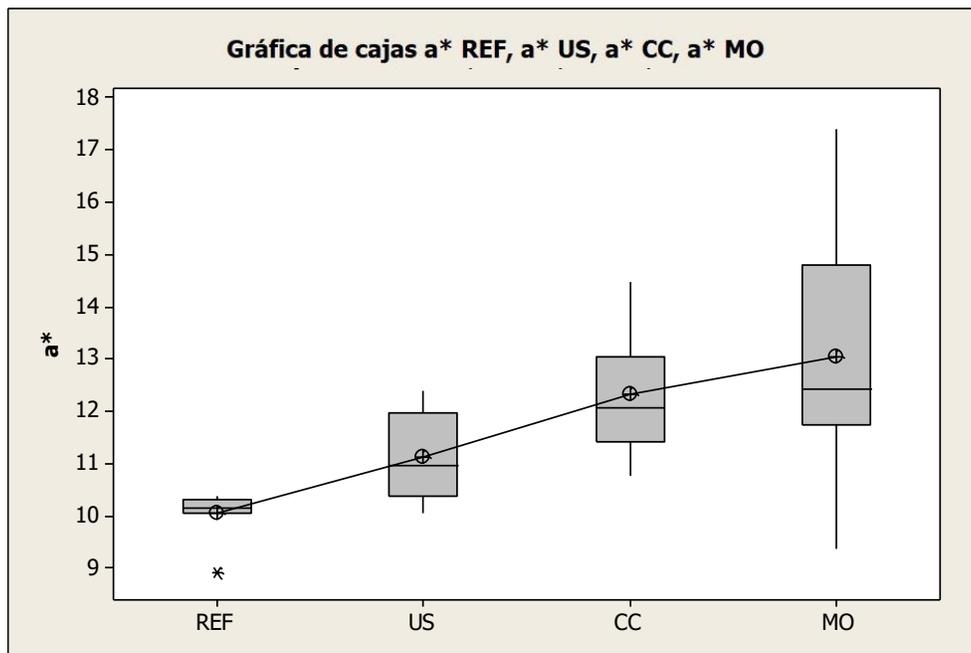


Figura 31. ANOVA del parámetro a^* con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

Al observar la *Figura 31*, se puede observar que H_0 ($P < 0.01$) se rechaza, debido a que el efecto del método de descongelación muestra diferencias altamente significativas entre ellos. Los valores de a^* bajo los tratamientos de descongelación por refrigeración y ultrasonido fueron significativamente más bajos que por microondas y cámara climática. La mioglobina es una de las proteínas que se desnaturaliza durante la congelación y descongelación, siendo la fracción de la globina la que se modifica estructuralmente, llevando a una pérdida en la estabilidad del color (Alonso *et al.*, 2016). También existen pérdidas de mioglobina, así como de enzimas y cofactores del entorno sarcoplásmico por exudado durante la

descongelación, debido a la oxidación, lo que podría contribuir a la oxidación acelerada y pérdida de “*Bloom*” (Leygonie *et al.*, 2012).

La transformación de desoximioglobina a oximioglobina es más lenta después de abrir un envase al vacío y produce un elevado porcentaje de desoximioglobina, de acuerdo con Kim *et al.* (2011).

Con respecto a las microondas, cabe mencionar que hubo una gran dispersión de los datos, debido a que la superficie de las muestras presentaba diferentes grados de daño por las mismas microondas empleadas, lo que pudo tener impacto en las lecturas tomadas por el equipo.

3.1.3. b^*

El parámetro b^* representa la variación de color entre amarillo ($+b^*$) y azul ($-b^*$)

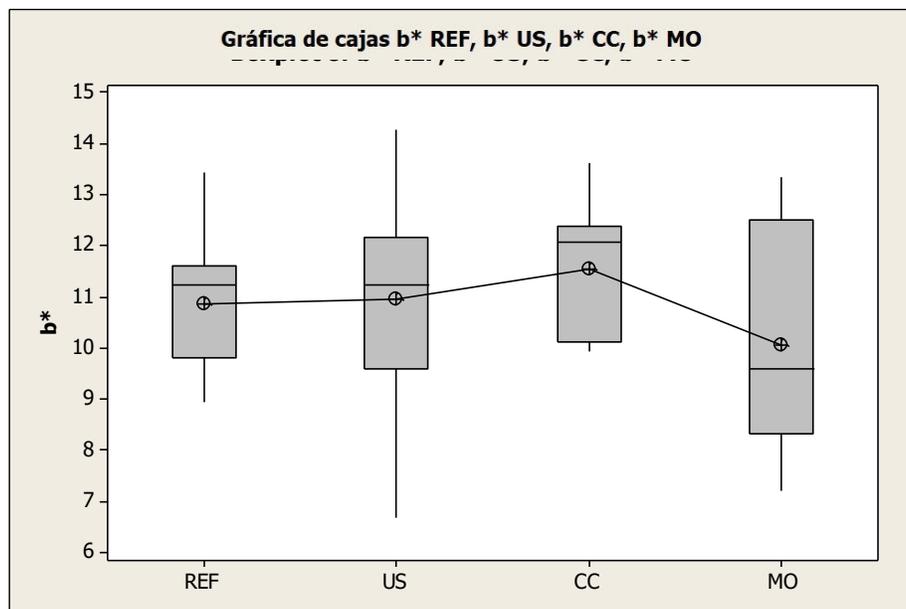


Figura 32. ANOVA del parámetro b^* con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

En la Figura 32, puede parecer que para los valores de b^* existe diferencia para las muestras tratadas con microondas. Sin embargo, estadísticamente no hay diferencia significativa para ningún tratamiento ($P=0.412$), por lo que H_0 fue aceptada ($P>0.05$). En estudios realizados por Xia, *et al.* (2009), observan un aumento en el valor b^* , estos resultados sugieren que la formación de pigmento

amarillo en la carne de cerdo podría deberse a reacciones de pardeamiento no enzimático entre los productos de oxidación de lípidos y la amina en los grupos principales de fosfolípidos o la amina en la proteína. Además, la disminución del enrojecimiento y el aumento de la amarillez inducida por los ciclos de congelación y descongelación podrían deberse a la formación de metamioglobina.

3.1.4. % Reflectancia

La reflectancia se expresa en porcentaje y mide la cantidad de luz reflejada por una superficie.

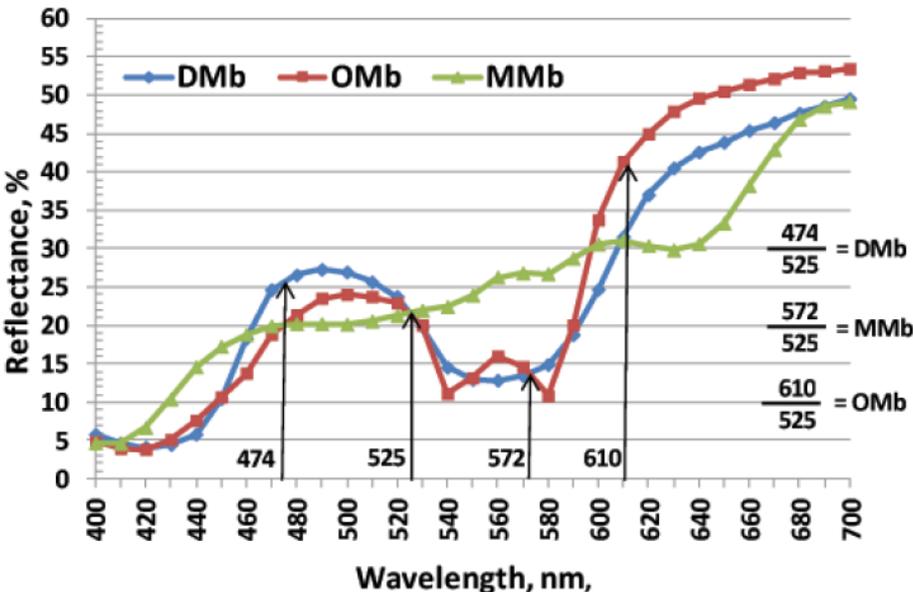


Figura 33. Curva espectral de la desoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina

Fuente: AMSA, 2012

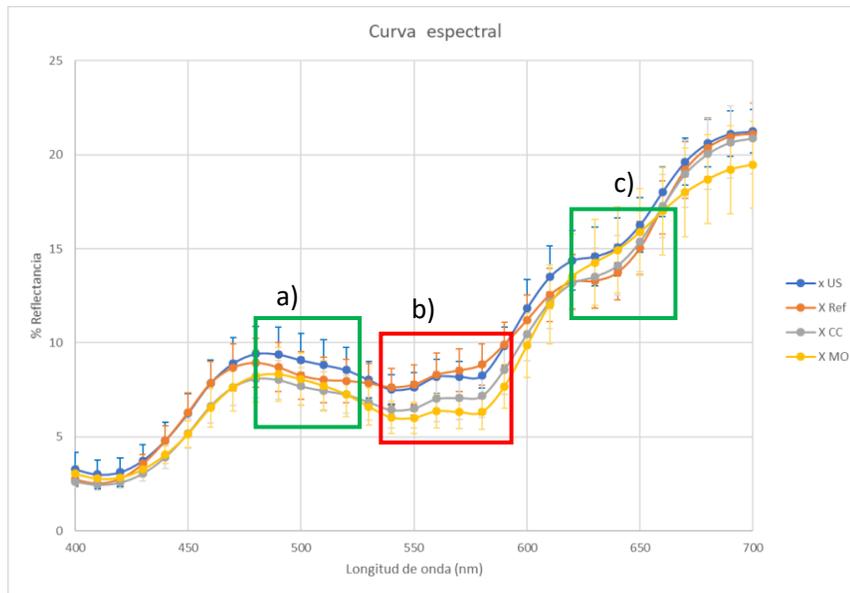


Figura 34. Curva espectral para descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

En las muestras descongeladas, existe una combinación de mioglobina en sus tres formas químicas (DMb, Omb y MMb) señalando que las tres se encuentran siempre presentes, aunque solo una de ellas es la que predomina. Esto puede apreciarse comparando el comportamiento de las curvas espectrales correspondiente a cada tratamiento contra las reportadas en AMSA (2012). En las zonas marcadas a) y c) de la Figura 34 se observa un comportamiento similar a la presentada en la Figura 33. que denota la predominancia de metamioglobina, debido a que la carne estaba envasada al vacío. Además, Xia *et al.*, 2009, describen que durante el proceso de congelación-descongelación y el almacenamiento en congelación producen la oxidación de las proteínas, pudiendo derivar en la formación de metamioglobina.

De igual manera en la sección c) se puede observar la presencia de las tres formas de la mioglobina, principalmente metamioglobina representada en la Figura 33.

3.2. pH

El pH es una medida de la cantidad de iones hidrógeno (H^+) en una solución.

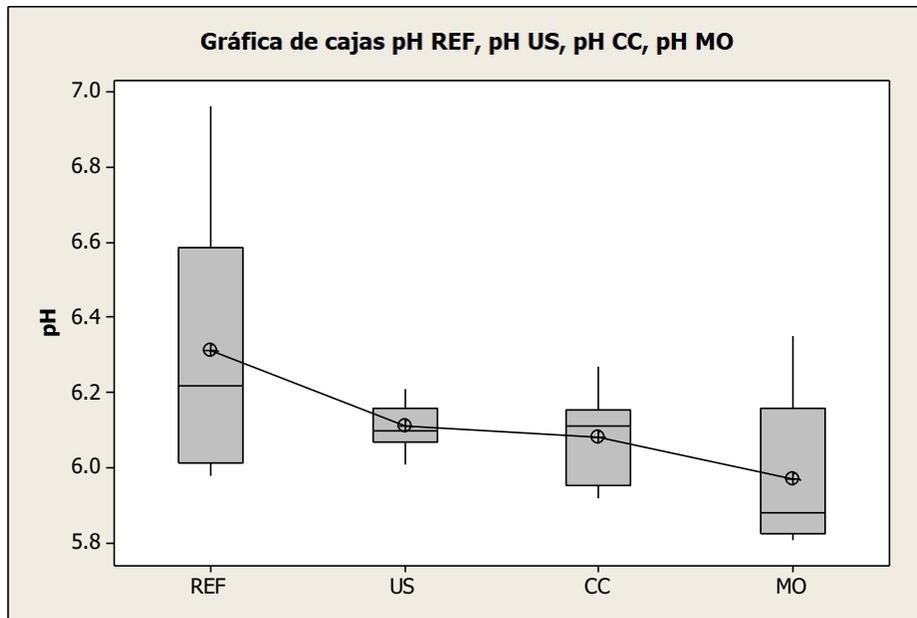


Figura 35. ANOVA de pH con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

En la Figura 35 se observa una diferencia significativa ($P < 0.05$) para el tratamiento de descongelación en refrigeración en contraste con el método de microondas. Por lo tanto, se rechaza H_0 . Leygonie *et al.* (2012) indican que el pH de la carne congelada-descongelada tiende a ser más bajo que antes de la congelación. Los valores de pH son un factor fundamental que afectan las propiedades fisicoquímicas de la carne (Kim *et al.*, 2011).

Es posible que la congelación-descongelación, así como la desnaturalización proteica por efecto de las microondas (Jiménez, 2001), con la subsecuente producción de exudado podría causar un impacto en las proteínas estructurales, la liberación de los iones de hidrógeno y su consiguiente disminución de pH (Leygonie *et al.*, 2012).

3.3. CRA

Xia, *et al.*, 2009, describen que el aumento en el volumen de agua perdida, indica una pérdida en la capacidad de retención de agua del músculo. También demostraron que ciclos repetidos de congelación-descongelación generan la formación de cristales de hielo, los cuales se funden y se forman nuevamente, lo

cual propicia el detrimento del tejido muscular, causando un daño mecánico a la membrana celular y la pérdida de la capacidad de retención de agua.

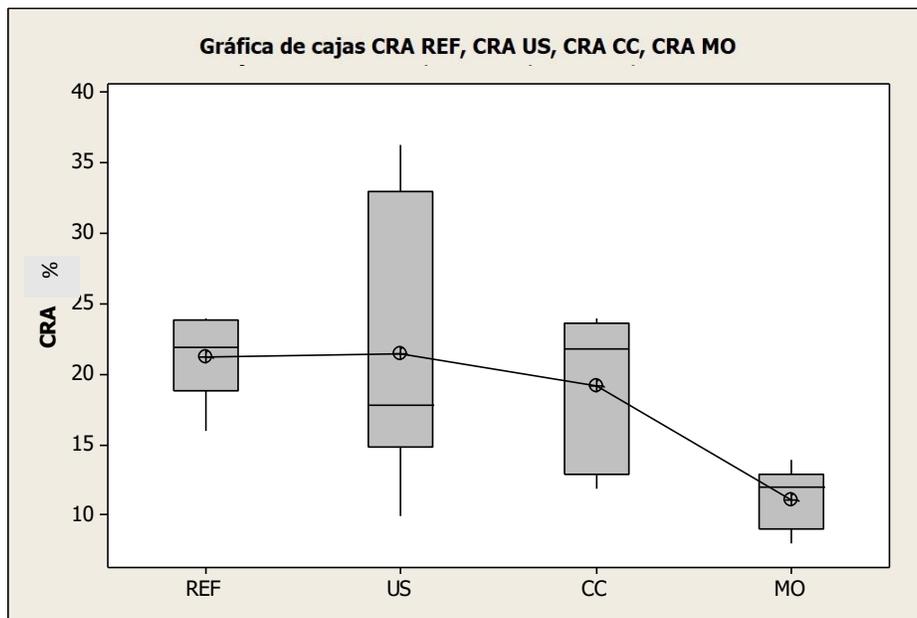


Figura 36. ANOVA de CRA con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

En la Figura 36, se observa que para el tratamiento con microondas tiene una diferencia significativa ($P < 0.05$) con respecto a los demás tratamientos por lo que se rechaza H_0 . La pérdida de humedad *post mortem* es inevitable debido al descenso del pH (cercano al punto isoeléctrico de las proteínas), la pérdida de ATP, y los efectos estéricos causados por la contracción de las miofibrillas (Huff-Lonergan, 2005). En general, hay un consenso en la literatura científica de que el congelamiento, almacenamiento y descongelamiento contribuyen a la disminución de la CRA. Ha sido reportado que la pérdida de la CRA está relacionada a la disrupción de la estructura de la fibra muscular, tanto como la modificación y/o desnaturalización de las proteínas (Leygonie, *et al.* 2012).

En términos de descongelación, Gonzales-Sanguinetti *et al.* (1985), encontraron que, al disminuir el tiempo de descongelación, el agua del hielo derretido aumenta la actividad de agua, permitiendo que las proteínas deshidratadas reabsorban el agua. Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente las microondas tienen un

efecto desnaturalizante en las proteínas (Jiménez, 2001), por lo que tiene un fuerte impacto negativo en la CRA.

El ultrasonido produce efectos de contracción-relajación involuntarios en la carne, lo que puede ocasionar que en los resultados exista un coeficiente de variación grande por efecto de los diferentes grados de la contracción muscular

3.4. a_w

La actividad de agua mide la disponibilidad del agua libre disponible para llevarse a cabo diversas reacciones en los alimentos, así como el desarrollo de microorganismos.

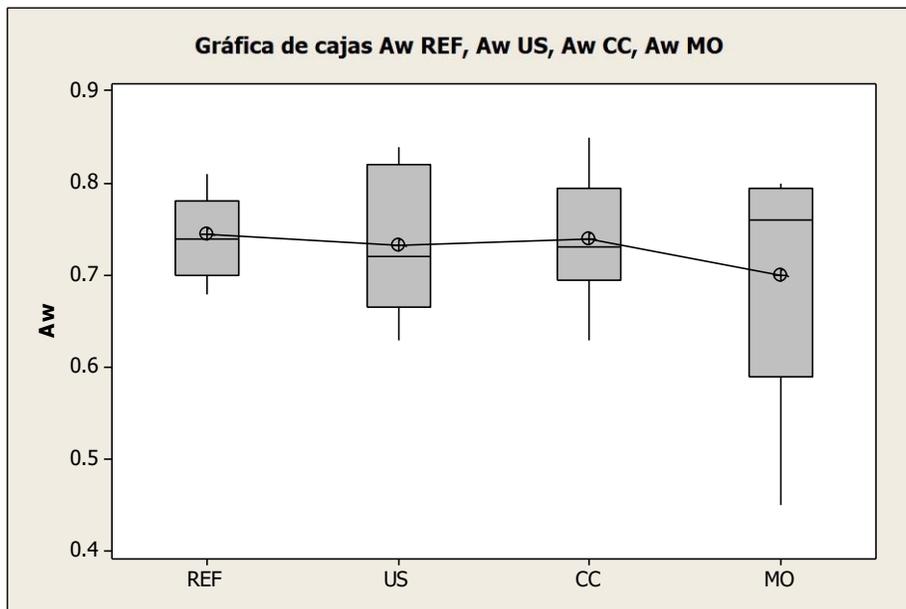


Figura 37. ANOVA de a_w con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

Como se puede observar en la Figura 37 no existen diferencias estadísticas para la a_w entre los métodos utilizados para la descongelación de la carne ($P > 0.05$), por lo que H_0 es aceptada. En la literatura se reporta la a_w de la carne fresca de 0.98-0.99, mucho más elevada que la obtenida experimentalmente de la carne congelada, almacenada en congelación durante ocho años y descongelada mediante distintos métodos. La explicación es que debido a variación de la temperatura durante el almacenamiento en congelación produce la modificación en el tamaño de los

cristales de agua formados durante la descongelación son responsables de pérdida por exudados, expresado en una disminución de la a_w .

3.5. Dureza

La dureza es la resistencia que opone un material a la deformación. Los resultados de dureza obtenidos al utilizar diferentes métodos de descongelación llevan a rechazar H_0 ($P < 0.05$).

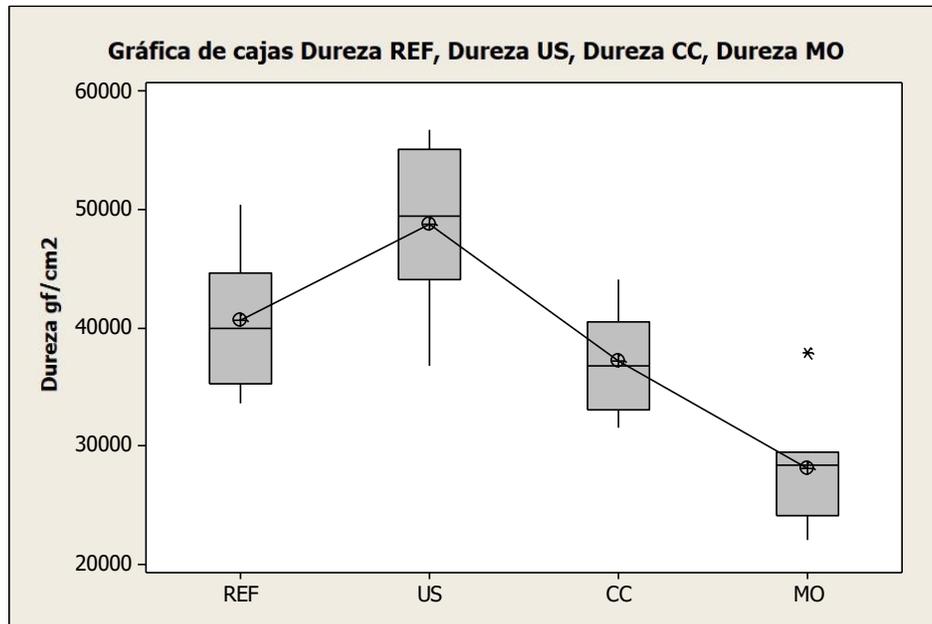


Figura 38. ANOVA de dureza con descongelación por refrigeración (REF), ultrasonido (US), cámara climática (CC) y microondas (MO)

La Figura 38, se observa un incremento en la dureza con el tratamiento de US. Se ha observado que el descongelamiento asistido por US toma menor tiempo que al emplearse el descongelado tradicional conductivo. Además, la calidad en la carne tiene impacto mínimo según mencionan Robles y Ochoa, 2012. En este proyecto, al aplicar frecuencias altas no se detectaron efectos positivos en la tasa de ablandamiento de la carne. Gambuteanu y Alexe, 2015, describen que aunque el US de alta intensidad indujo a la fase *pre-rigor* de la ultraestructura, no mejoró el ablandamiento de la carne, debido a que el ultrasonido genera un efecto de contracción-relajación involuntarios, lo que coincide con los resultados obtenidos en este proyecto, en el cual tras 28 minutos, las fibras pudieron haber quedado contraídas viéndose reflejado en un aumento en la dureza.

Con respecto al tratamiento con MO, en comparación con los resultados obtenidos para la descongelación por REF y en CC, se observa una disminución en la dureza, esto puede ser resultado de la desnaturalización de las proteínas estructurales, como mencionan Jiménez *et al.*, 2001.

CONCLUSIONES

- Con respecto a los PPC, el valor de L^* presenta cambios significativos ($P < 0.05$) para el tratamiento de MO, resultando más bajo en comparación de los demás métodos. Para el valor de a^* existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), con los resultados más bajos para los tratamientos por US y REF. El parámetro b^* no mostró cambios significativos ($P > 0.05$). La curva espectral permitió visualizar que los tratamientos resultaron en curvas muy parecidas entre sí; además de poder observar la presencia de mioglobina en sus tres formas químicas, con la metamioglobina en mayor proporción.
- Se encontró que el pH de la carne tratada con MO, presentó una diferencia significativa ($P < 0.05$) con valores inferiores respecto de los demás tratamientos.
- Los resultados obtenidos para la CRA, muestran una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) al utilizar MO en la descongelación, con valores considerablemente más bajos respecto de los otros tratamientos.
- En cuanto a los valores de a_w , no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los distintos tratamientos de descongelación de la carne.
- El análisis de la dureza mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), y los valores de mayor dureza se obtuvieron en la carne tratada con US, mientras que la menor dureza fue obtenida en la carne tratada con MO.

En función de los parámetros evaluados, el tratamiento de descongelación en CC es el que tiene un menor impacto en los atributos de calidad de la carne de bovino. Además de ser uno de los métodos más versátiles y simples de usar, ofrece ventajas en términos de productividad, rendimiento, reduciendo tiempos de proceso, mejorando la calidad en algunos casos, reduciendo los riesgos físicos y químicos y es considerada amigable con el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

El tratamiento de descongelación con Microondas fue el método que derivó en el deterioro de la mayoría de los atributos de calidad de la carne. Distintos autores relacionan este efecto con la desnaturalización de proteínas

Se recomienda continuar con el estudio con cada tratamiento de descongelación, presentando como variables diferentes potencias, geometrías, número de ciclos y tiempo de duración de los mismos, a fin de identificar más específicamente las mejores condiciones de descongelación y así reducir el impacto negativo en la calidad del producto cárnico.

De igual manera, podría complementarse este estudio utilizando otros métodos de descongelación, tanto tradicionales como nuevas tecnologías, con la finalidad de encontrar las mejores condiciones de descongelación para su utilización en la industria cárnica.

REFERENCIAS CITADAS

- Alonso, V., Muela, E., Tenas, J., Calanche, J. B., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2016). Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage. *European Food Research and Technology*, 242(12), 2119-2127.
- Álvarez, A. (2015). *Evaluación de pH y color en carne de ovino congelada-descongelada*. Tesis para obtener el título de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- American Meat Science Association. (2012). *AMSA Meat Color Measurement Guidelines: AMSA*. American Meat Science Association.
- Andrade, A. C. (2017). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de hamburguesa de ovino adicionada con carragenina y aislado proteico de soya*. Tesis para obtener el título de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Andújar, G., Pérez, D., & Venegas, O. (2009). *Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos*. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- Apple, J. K., & Yancey, J. W. (2013). Water-holding capacity of meat. *The science of meat quality*, 119-145.
- Badui Dergal, S., & Cejudo Gómez, H. R. T. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson educación.
- Cano Montinel, A. A. (2008). Uso de microondas para el calentamiento de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de alimentos*.
- Codex Alimentarius*. Código de prácticas de higiene para la carne. CAC/RCP 58/2005

- Coria, J., Meléndez, R., Rosas, M., Llorente, A. Arjona, J. (2017). Analysis of the color profile and shear force in ultrasonicated pork meat (*Longissimus thoracis*). *Interciencia Journal*, 42(7).
- Fernández, A. E. (2007). *Evaluación de los cambios físicos en carne de bovino congelada-descongelada y almacenada en refrigeración*. Tesis para obtener el título de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores, E. (2014). *Efecto de la congelación-cocción evaluado en atributos de calidad en carne de cerdo*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fontana, A. J. (2000, October). Water activity's role in food safety and quality. In *Second NSF International Conference on Food Safety*.
- Gambuteanu, C., & Alexe, P. (2015). Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork *Longissimus dorsi* muscle. *Journal of food science and technology*, 52(4), 2130-2138.
- Genot, C., & Djenane, D. (2003). *Congelación y calidad de la carne* (No. 664.902853 G4C6).
- Gonzalez-Sanguinetti, S., Anon, M. C., & Calvelo, A. (1985). Effect of thawing rate on the exudate production of frozen beef. *Journal of Food Science*, 50(3), 697-700. Citado por Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat science*, 91(2), 93-98.
- Gutierrez, I. (2014). *Evaluación de los efectos de los ciclos de congelación-descongelación en carne de res mediante técnicas histológicas y electroforéticas*. Tesis para obtener el título de Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández, A., & Díaz, J. A. (2008). Evaluación del penetrómetro de cono de 30° para el control y la investigación de la consistencia en quesos.

- Hernández, L. A. Z., Velásquez, H. J. C., & Saraz, J. A. O. (2007). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3797.
- Huang, C., Zhang, H., & Bai, R. (2017). Advances in ultrasound-targeted microbubble-mediated gene therapy for liver fibrosis. *Acta Pharmaceutica Sinica B*.
- Huerta, N. y Rodas, A. (1998). *Aspectos de calidad de carne para inicios del milenio*. Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: *The role of postmortem biochemical and structural changes*. *Meat Science*, 71(1), 194-204.
- Jiménez, M., Aguilar, M., Zambrano, M., & Kolar, E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45(2), 89-92.
- Kim, T. H., Choi, J. H., Choi, Y. S., Kim, H. Y., Kim, S. Y., Kim, H. W., & Kim, C. J. (2011). Physicochemical properties of thawed chicken breast as affected by microwave power levels. *Food science and biotechnology*, 20(4), 971.
- Kim, Y. H. B., Frandsen, M., & Rosenvold, K. (2011). Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle. *Meat science*, 88(3), 332-337.
- Li, Y., Jia, W., Zhang, C. H., Li, X., Wang, J. Z., Zhang, D. Q., & Mu, G. F. (2014). Fluctuated low temperature combined with high-humidity thawing to reduce physicochemical quality deterioration of beef. *Food and bioprocess technology*, 7(12), 3370-3380.
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat science*, 91(2), 93-98.

- Mason, 1998. Citado por Robles-Ozuna, L.E; Ochoa--Martínez, L.A.; (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2).
- Medić, H., Kušec, I. D., Pleadin, J., Kozačinski, L., Njari, B., Hengl, B., & Kušec, G. (2018). The impact of frozen storage duration on physical, chemical and microbiological properties of pork. *Meat science*, 140, 119-127.
- Min, S. G., Hong, G. P., Chun, J. Y., & Park, S. H. (2016). Pressure ohmic thawing: a feasible approach for the rapid thawing of frozen meat and its effects on quality attributes. *Food and bioprocess technology*, 9(4), 564-575.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-008-ZOO-1994 Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos
- Norma Oficial Mexicana. NOM-009-ZOO-1994 Proceso sanitario de la carne.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-051-ZOO-1995 Proceso sanitario de la carne.
- Okamoto and Suzuki, 2002. Citado por Li, Y., Jia, W., Zhang, C. H., Li, X., Wang, J. Z., Zhang, D. Q., & Mu, G. F. (2014). Fluctuated low temperature combined with high-humidity thawing to reduce physicochemical quality deterioration of beef. *Food and bioprocess technology*, 7(12), 3370-3380.
- Raichel, 2000. Citado por Robles-Ozuna, L.E; Ochoa--Martínez, L.A.; (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2).
- Ranken D. (2003). Manual de la industria de la carne. España: Mundi-Prensa.
- Restrepo, D., ARANGO, C., Amézquita, A., & Restrepo, R. (2001). Industria de carnes. *Medellín: Universidad Nacional de Colombia*.
- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: *Capacidad de retención de agua*.

Robles-Ozuna, L.E; Ochoa-Martínez, L.A.; (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2).

SIAP-SAGARPA. Atlas Agroalimentario 2016.

Taher, B. J., & Farid, M. M. (2001). Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 40(4), 379-389.

Umaña, E. (2007): Conservación de alimentos por frío. Refrigeración /Congelamiento, 30-54.

www.codexalimentarius.org (CAC/RCP 8-1976): Código de prácticas para la elaboración y manipulación de los alimentos congelados rápidamente.

www.fao.org Composición de la carne (consultado el 29 de noviembre de 2017)

www.fao.org Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado (consultado el 1 de diciembre de 2017)

<http://www.fao.org/3/y5454s/y5454s00.pdf> Buenas prácticas para la industria de la carne. Manual (consultado el 3 de marzo de 2019)

Xia, X., Kong, B., Liu, J., Diao, X., & Liu, Q. (2012). Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 280-286.

Xia, X., Kong, B., Liu, Q., & Liu, J. (2009). Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. *Meat science*, 83(2), 239-245.

Yates, L. D., Greaser, M. L., & Huxley, H. E. (1983). Quantitative determination of myosin and actin in rabbit skeletal muscle. *Journal of molecular biology*, 168(1), 123-141.

Zimerman, M. (2008). pH de la carne y factores que lo afectan. *Aspectos estratégicos para obtener carne de ovino de calidad en el cono sur americano, 1*.

Zúñiga Hernández, L. A., Ciro Velásquez, H. J., & Osorio Saraz, J. A. (2007). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín, 60(1)*.