



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN.**

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN EL  
PROCESO DE CONGELACIÓN SOBRE PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA  
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN CARNE DE BOVINO”.**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**SONIA ABIGAIL CELIS BECERRA**

**ASESORES:**

**M. EN C. ROSALÍA MELÉNDEZ PÉREZ**

**I. A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2007.**



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.

# Índice General

	Pág.
RESUMEN	i
INTRODUCCION	ii
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	1
1.1. Definición de la carne	1
1.1.1. Composición de la carne	1
1.1.2. La estructura del músculo	2
1.1.3. Transformación del músculo en carne	3
1.2. Propiedades físicas de la carne en general	5
1.3 Tecnología de la congelación	13
1.3.1. Definición de congelación	13
1.3.2. Cinética del proceso de congelación	13
1.3.3. Periodo de congelación	17
1.3.4. Métodos de congelación	17
1.3.4.1. Congelación por aire	18
1.3.4.2. Congelación por placas	19
1.3.4.3. Congelación criogénica	19
1.3.4.4. Congelación por inmersión en líquidos incongelables	20
1.4. Textura	21
1.4.1. Métodos de evaluación de textura de los alimentos	22
1.4.1.1. Texturómetro General Food.	23
1.4.1.2. Máquina Universal de Pruebas ( Instron)	23
1.4.1.3. Propiedades mecánicas	24
1.4.2. Prueba de compresión	26
1.4.3. Prueba de penetración	29
1.4.4. Efecto de la temperatura sobre propiedades mecánicas	30
1.5. Capacidad de retención de agua	31
1.5.1. Factores que influyen en la capacidad de retención de agua de la carne	31
1.5.2. Técnicas para medir la retención de agua en la carne	33
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	35
2.1. Cuadro Metodológico	36
2.2. Descripción experimental	37
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

## Índice de figuras

	Pág.
Figura. 1. La estructura muscular	2
Figura. 2. Expansión y contracción del músculo	4
Figura. 3. Estructura de la mioglobina	6
Figura. 4. Fases de la congelación de una muestra	13
Figura. 5. Módulo de compresión de un material	24
Figura. 6. Módulo de cizalla de un material	25
Figura. 7. Carga máxima de un material	25
Figura. 8. Tenacidad de un material	26
Figura. 9. Compresión de un material	26
Figura. 10. Representación esquemática de un ensayo de compresión	27
Figura. 11. Curva de carga y descarga de un producto alimentario	28
Figura. 12. Prueba de penetración	29
Figura. 13. Curvas de esfuerzo-deformación mostrando diferentes comportamientos	30
Figura. 14. Acomodo de termopares en la placa de carne dentro del túnel de congelación	38
Figura. 15. Congelación de falda de res a $-13^{\circ}\text{C}$ con circulación forzada del aire en la zona de 2.5cm	44
Figura. 16. Congelación de falda de res a $-13^{\circ}\text{C}$ con circulación natural del aire en la zona de 2.5cm	45
Figura. 17. Congelación de falda de res a $-20^{\circ}\text{C}$ con circulación forzada y natural en la zona de 2.5cm	46
Figura. 18. Curva esfuerzo-deformación para prueba de penetración de falda de res congelada a $-13$ y $-20^{\circ}\text{C}$ con y sin circulación de aire	50
Figura. 19. Efecto de las condiciones de congelación sobre la carga máxima	51
Figura. 20. Efecto de las condiciones de congelación sobre módulo de cizalla	53
Figura. 21. Efecto de las condiciones de congelación sobre la tenacidad	56
Figura. 22. Curva esfuerzo-deformación para prueba de compresión de falda de res congelada a $-13$ y $-20^{\circ}\text{C}$ con velocidad de aire alta y baja.	58
Figura. 23. Gráfico de interacción de 2 niveles de Temperatura de Congelación y Velocidad del aire sobre módulo de compresión.	59
Figura. 24. Gráfico de interacción de 2 niveles de Temperatura de Congelación y Velocidad de aire sobre tenacidad	61
Figura. 25. Gráfico de interacción de 2 niveles de Temperatura de Congelación y Velocidad de aire sobre energía de borde	62

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Condiciones de congelación de la carne	42
Tabla 2. Periodos de congelación medios para congelación de falda de res a -13 y -20°C con circulación natural y forzada.	47
Tabla 3. Resultados de la prueba de penetración a diferentes condiciones de congelación	54
Tabla 4. Resultados de la prueba de compresión a diferentes condiciones de congelación	59
Tabla 5. Análisis de Varianza para porcentajes de CRA	64

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la velocidad del aire en el proceso de congelación sobre las propiedades mecánicas y la capacidad de retención de agua en la carne de bovino; la carne utilizada en este trabajo fue falda de res.

Se aplicaron dos temperaturas del medio ( $-20^{\circ}\text{C}$  y  $-13^{\circ}\text{C}$ ) con circulación natural y forzada del aire, utilizando un túnel de congelación marca Armfield.

Para conocer el efecto tanto de las temperaturas del medio como del uso de la convección natural y forzada del aire sobre su calidad se obtuvo un perfil de temperaturas para calcular el periodo de congelación en la carne. Posteriormente, se evaluaron las propiedades mecánicas en la carne recién congelada mediante pruebas de compresión y penetración utilizando el INSTRON 4411 obteniéndose la carga máxima, el módulo de cizalla y de compresión, tenacidad y energía de borde. Con el mismo equipo también se evaluó la capacidad de retención de agua.

Con lo anterior se contrastaron los cambios físicos producidos por la convección natural y forzada del aire aunado a la temperatura del medio de congelación y se encontró que la convección forzada y la temperatura de congelación de  $-20^{\circ}\text{C}$  dio como resultado el periodo de congelación más bajo, esto hace que la capacidad de retención de agua sea mayor y las propiedades evaluadas mediante compresión y penetración son mayores para periodos de congelación prolongados.

## Introducción

En la actualidad, la congelación de productos cárnicos y carne fresca es muy importante; ya que cada día, incrementan la necesidad de intercambios comerciales y la calidad de los productos debe permanecer intacta.

La congelación es la operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, la inmovilización del agua en forma de hielo y el aumento de la concentración de los solutos en el agua no congelada reduce la actividad del agua del alimento (Fellows, 1994). Por lo tanto se considera una operación de conservación en la cual, se inhibe, entre otras funciones el crecimiento de microorganismos (Aguado, 2003).

Dentro de las ventajas de la preservación de alimentos por una congelación realizada correctamente se encuentran que:

- a) Evita posibles fermentaciones, oxidaciones o decoloraciones.
- b) Hay un cambio mínimo de características organolépticas, como textura y jugosidad.
- c) Disponibilidad del producto en cualquier época del año.
- d) Ausencia de crecimiento microbiano.

Lo anterior es benéfico y puede lograrse siempre y cuando la velocidad de congelación, que es el tiempo que tarda un alimento en eliminar el calor y llegar a la temperatura de congelación sea rápida, ya que de lo contrario el daño causado por la formación del hielo dentro del tejido de la carne y la localización de los cristales de hielo formados durante la congelación afectan parámetros

importantes de la calidad como el exudado, la textura y el color de productos congelados (Cambero, 1983; *Martino*, 1998; Varona, 2004).

Para velocidades de congelación elevadas (de 1 a 5 cm/h) la cristalización tiene lugar esencialmente en el interior de las células ya que se forman muchos cristales pequeños. Esto condiciona una disminución de la capacidad de retención de agua, y cambios en la textura de la carne (*Genot*, 2001; Ranken, 2003; Sharma, 2003).

La textura puede ser medida de manera precisa y objetiva por medios mecánicos; en la carne es importante conocer la resistencia mecánica; y entre los esfuerzos mecánicos utilizados para este fin están la compresión, tracción, cizallamiento simple, penetración, etc. (*Casas*, 2001; Rosenthal, 2001, *Onega, et. al.*, 2003).

Ramos en 2005 analizó el efecto del método de congelación sobre características fisicoquímicas y sensoriales de la carne de pollo, las comparaciones se hicieron en términos de ternura mediante la prueba de Warner-Bratzler, capacidad de retención de agua por el método de centrifugación en carne molida y pérdidas de agua por cocción, lo que obtuvo fue que la carne que presentó mejores atributos sensoriales y fisicoquímicos fue aquella congelada individualmente (IQF).

Por otro lado, Santrich en 2006 realizó estudios sobre la calidad de la carne de res cruda y cocida proveniente de dos grupos de animales de diferentes regiones analizando ternura mediante la prueba de Warner-Bratzler así como el contenido de humedad. Se llegó a que la carne cocida es significativamente más tierna y que la alimentación según la región de donde provienen influye tanto en el contenido de humedad como en la ternura y el contenido de grasas.



Estos son algunos de los trabajos más recientes que se han realizado sobre la carne y su calidad; sin embargo, en ambos trabajos solo se analiza una propiedad mecánica que es la terneza; además la evaluación de estos atributos de calidad se hicieron en carne fresca o descongelada.

Con este trabajo se pretende ver el efecto sobre propiedades mecánicas en carne congelada mediante pruebas de compresión y penetración, lo cual permitirá obtener además de la fuerza de ruptura, la tenacidad y el módulo de compresión y cizalla que son otro tipo de propiedades mecánicas que describen la textura de la carne, por otro lado la capacidad de retención de agua se determinó por medio del método de compresión que es más económico, práctico y fácil de llevarse a cabo en la carne de bovino. Estas pruebas nos indican las ventajas y desventajas de la congelación y son parámetros que nos indican la calidad de la carne.

# **CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.**

## **1.1 DEFINICION DE LA CARNE.**

La carne se define como todas las partes aptas para el consumo humano de animales domésticos de las especies bovina, porcina, ovina y caprina.

En sentido estricto la carne es la estructura muscular estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo, hueso y grasa, además de fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos; proveniente de los animales, que no ha sido sometida a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características sensoriales y fisicoquímicas; se incluyen las refrigeradas o congeladas (Frazier, 2001; NOM-EM-007-SSA1-2004).

### **1.1.1. Composición de la carne**

La carne se compone en porcentaje de:

- 10% de un mecanismo contráctil consistente en proteína miofibrilar (actina, miosina, etc.) en forma de fibrillas, fibra y haces de fibras.
- 2% de tejido conectivo consistentes en tubos ligeros o redes de colágeno y elastina que encierra cada uno de los mecanismos contráctiles.
- 84.5% de sarcoplasma que es un fluido que rodea al tejido conectivo y a su vez está compuesto de agua 75%, proteína sarcoplásmica, 6% y otras sustancias solubles, tales como mioglobina (color rojo), sales, vitaminas, etc.
- 3.5% de grasa, tendones, nervios, vasos sanguíneos, etc. (Ranken, 2003).

### 1.1.2. La estructura del músculo

Cada músculo está rodeado por una gruesa envoltura de tejido conjuntivo, el **epimisio**, que continúa con el tendón (Figura 1). El propio músculo está dividido en haces de fibras por una gruesa red primaria de tejido conectivo perimisial, que típicamente determinan haces de fibras musculares de 1 mm. de diámetro. Las fibras musculares pueden situarse paralelas u oblicuas, a la dirección del músculo. Esto está determinado por el tamaño del músculo y su localización anatómica. El **perimisio** contiene fibras de colágeno entrelazadas y organizadas formando una red. La orientación de éstas en relación al eje de las fibras musculares varía con el acortamiento y el estiramiento (Kinsman, 1994).

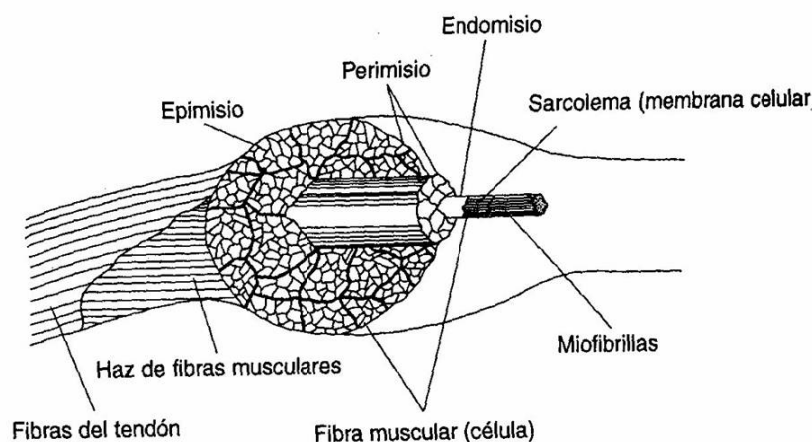


Figura 1. La estructura muscular de la carne. (Varnam, 1995)

Dentro de los haces, las fibras musculares individuales están separadas por el tejido conectivo endomisial. Los capilares sanguíneos y las conexiones nerviosas para el funcionamiento muscular *in vivo* se encuentran en esta envoltura de tejido conectivo. La superficie de las fibras musculares se conoce como **sarcolema**. Está formado por tres capas: una red externa de colágeno, una capa media amorfa y una membrana plasmática interna. Todos los componentes celulares están bañados por

el sarcoplasma semifluido, que contiene los componentes solubles, como mioglobina, algunas enzimas y algunos intermediarios metabólicos.

Las fibras están principalmente compuestas por miofibrillas situadas muy próximas unas al lado de otras. Las miofibrillas representan aproximadamente 80% del volumen total de la célula muscular. Estas son el aparato contráctil del músculo. Las fibras blancas (w) contienen miofibrillas separadas sólo por los canales formados por membranas del retículo sarcoplásmico, donde se almacena calcio. Sólo están presentes unas pocas mitocondrias. Por el contrario, las fibras rojas ( $\beta$ R) contienen mitocondrias situadas entre las miofibrillas adyacentes. (Kinsman, 1994; Lawrie, 1985).

### 1.1.3. Transformación del músculo en carne

Después de la muerte del bovino el músculo sufre diversas transformaciones y durante las primeras 12 a 24 horas postmortem se vuelve inextensible y rígido, originando el fenómeno que se conoce como rigor mortis.

El *rigor mortis*. Constituye la fase inicial en la transformación del músculo en carne. Consiste simplemente en la unión irreversible de miosina y actina que son las principales proteínas de la carne para formar actomiosina. Esta unión puede ir acompañada o no de contracción muscular como se muestra en la figura 2, pero se manifiesta en la rigidez cadavérica que le caracteriza (Varnam, 1995).



Figura 2. Expansión y contracción del músculo (Anónimo, 2006)

La consecuencia más inmediata del sangrado es el fallo en el aporte de oxígeno transportado por la sangre a los músculos y por tanto la caída del potencial de oxidación-reducción. En consecuencia, el sistema enzimático citocromo no puede funcionar y la síntesis de ATP por esta vía es imposible.

Por acción de la ATPasa de la miosina disminuye el nivel de ATP, liberando simultáneamente fosfato inorgánico que estimula la conversión del glucógeno en ácido láctico. La síntesis de ATP por glicólisis anaerobia no permite mantener el nivel de ATP, y al descender éste hasta casi desaparecer se forma actomiosina y se produce la inextensibilidad característica del *rigor* (Ranken, 2003).

La baja disponibilidad de ATP también incrementa la dificultad para mantener la integridad estructural de las proteínas, al mismo tiempo que el bajo pH, causado por la acumulación de ácido láctico, favorece su desnaturalización, la cual está acompañada por la pérdida de la capacidad de retención de agua.

*El rigor mortis se completa cuando la extensibilidad es nula. El acortamiento y la pérdida de extensibilidad se llevan a cabo a un pH muy elevado, cuando la*

concentración de ATP comienza a disminuir debido al agotamiento de CP (creatín-fosfato) (Bendall, 1973).

Tanto el final del acortamiento como el de la pérdida de extensibilidad se producen en los músculos cuando la concentración del ATP es prácticamente cero. Este es el momento en que se considera finalizado el proceso de instauración del *rigor*.

El *rigor* se produce durante la maduración, por la fragmentación de las miofibrillas por acción de las enzimas propias de la maduración (Bendall, 1961). Conforme ocurre la maduración, el músculo se hace cada vez más blando.

## **1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CARNE EN GENERAL**

La carne posee atributos que hacen distinguir su calidad estos resaltan a la vista y se ven afectadas por cambios en su estructura y debido a su composición, se producen reacciones entre sus compuestos.

La carne posee ciertas propiedades que intervienen en su calidad, como son:

- 1) Color
- 2) jugosidad
- 3) ternera

## 1) Color de la carne:

Es la primera característica que se destaca en la carne. El color de la carne es rojo oscuro, tonalidad dependiente del contenido de hemoglobina, el mismo colorante que tiene la sangre (Aberle, 2001).

Factores que influyen en el color de la carne:

- a) Los pigmentos de la carne
- b) Propiedades de dispersión de la luz

a) Los pigmentos de la carne.

El pigmento básico de la carne es la mioglobina (figura 3) la cual está constituida por una proteína, la globina y un grupo hemo de la cual se presenta a continuación su estructura química.

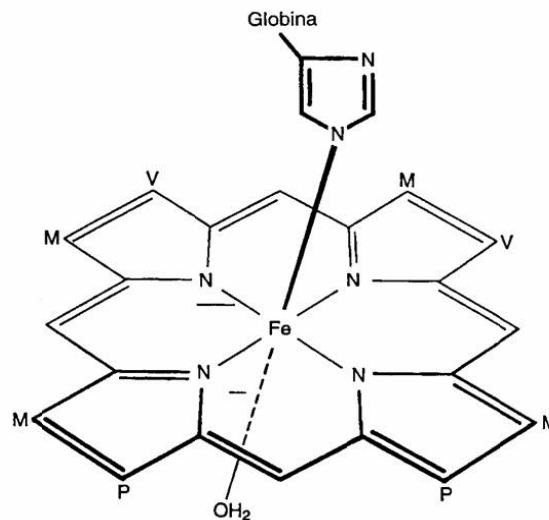


Figura 3. Estructura de la mioglobina. (Varnam, 1995)

La hemoglobina, también está presente en pequeñas cantidades, especialmente si el desangrado ha sido inadecuado. El contenido de mioglobina en los músculos, y por tanto el color de la carne varían considerablemente según las especies. Una carne oscura como la de vacuno, por ejemplo, contiene de 4-10 mg. de mioglobina por gramo de tejido húmedo, mientras que la de cerdo y ternera no contienen más de 3 mg/g de tejido húmedo. Los niveles de mioglobina varían según la raza y la edad, aumentando la concentración con la edad. La carne de los machos también tiene más mioglobina que las hembras. La función de la mioglobina en el animal vivo es el almacenamiento de oxígeno y por tanto los niveles son más altos en los músculos con mayor carga de trabajo (Varnam, 1995).

La mioglobina en la carne fresca generalmente existe en tres formas, que tienen distinto color. Las tres forman un equilibrio entre ellas y son:

- I. Mioglobina reducida
- II. Oximioglobina
- III. Metamioglobina

La **mioglobina reducida** tiene hierro reducido ( $Fe^{2+}$ ) y agua en el sexto enlace de coordinación. El color del pigmento es rojo púrpura y se encuentra en el interior de las piezas de carne donde el oxígeno está ausente.

La **oximioglobina** es la forma oxigenada de la mioglobina y mientras el hierro está en forma reducida el oxígeno ocupa el sexto enlace de coordinación. Este pigmento es de color rojo brillante y es el pigmento deseable en la carne fresca. Con el tiempo la capa delgada de oximioglobina avanza hacia el interior, dependiendo la



profundidad de la tensión de oxígeno y de la actividad de las enzimas que lo utilizan (Varnam, 1995).

La **metamioglobina** generalmente está presente en una zona de baja concentración de oxígeno entre el interior anaerobio de la carne y la zona oxigenada de la superficie. A medida que la carne madura la capa de metamioglobina aumenta y se hace visible por debajo de la capa de oximioglobina que va disminuyendo. La metamioglobina tiene el hierro en la forma oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y agua en el sexto enlace de coordinación. El pigmento, que es de color marrón, es incapaz de ligar oxígeno (Varnam, 1995; Kinsman, 1994).

#### b) Propiedades de dispersión de la luz.

La intensidad de la reflexión de la luz está relacionada con la estructura muscular y parece que depende del volumen miofibrilar. La carne pálida, que tiene un bajo volumen miofibrilar, presenta una alta capacidad de reflexión de la luz. La luz no puede penetrar una distancia significativa en la carne sin ser reflejada.

Esto significa que hay absorción relativamente pequeña por la mioglobina y la carne aparece pálida. La carne oscura, tiene una capacidad de reflexión muy limitada, permitiendo a la luz incidente penetrar una distancia considerable. Se produce una absorción considerable por la mioglobina y la carne aparece oscura (Desrosier, 1977).

### 1.1) Color de la carne congelada.

Bajo cualquier circunstancia, la carne congelada puede aparecer más oscura que la fresca. Esto deriva principalmente de la concentración de los pigmentos en la carne y se compensa en la carne congelada rápidamente por la reflectancia de los pequeños cristales de hielo. Esto puede hacer que parezca que la carne tiene un color claro.

La deshidratación de la superficie también concentra los pigmentos y favorece la formación de metamioglobina. En casos extremos esto da lugar a la quemadura por congelación, que es una consecuencia de la sublimación del hielo desde las superficies desprotegidas y de la deshidratación intensa causada por un inadecuado manejo de las bajas temperaturas durante el almacenamiento del producto congelado (Honikel, 1990).

La quemadura por congelación afecta a la apariencia y es culpable de la disminución de nutrientes y de su calidad, el desecamiento por congelación se ve como pequeñas áreas blancas hasta grises, es una manifestación temprana de deshidratación. El desecamiento por congelación es reversible y habitualmente desaparece cuando se descongela la carne (Honikel, 1990).

### **2) Jugosidad de la carne:**

La jugosidad representa, en cierto modo, la percepción de la humedad en el momento del consumo, pudiendo distinguir dos componentes, en primer lugar la impresión de humedad durante las primeras masticaciones, producida por la liberación rápida de jugo de la carne y en segundo lugar la jugosidad que se

mantiene después durante un tiempo debido al efecto estimulante de la grasa sobre la salivación (Lawrie, 1966).

Los jugos contienen componentes importantes que contribuyen a la fragmentación y suavidad de la carne mientras se mastica. Los lípidos intramusculares y el agua son las principales fuentes de jugosidad de la carne, constituyendo un sustrato acuoso que es liberado cuando la carne es masticada (Acevedo, 2004).

### 2.1) Factores que influyen en la jugosidad de la carne:

- a) La composición. En distintos tipos de fibra muscular afecta a la jugosidad (Goutefongea et. al., 1976). Una abundancia de fibras  $\beta$ R corresponde a una carne más jugosa (puesto que estos músculos son más ricos en grasa: fosfolípidos, triglicéridos y colesterol), mientras los músculos constituidos por fibra w dan carnes más secas (por su bajo contenido en grasa).
- b) Edad. Las carnes de animales muy jóvenes presentarán una buena impresión de jugosidad al principio de la masticación, para seguidamente parecer poco jugosas debido a su bajo contenido en grasa.
- c) El contenido lipídico del músculo. Es un factor esencial en la jugosidad, a mayor nivel más jugosa es la carne. El papel de la grasa depende del modo de cocinado, de manera que cuando está muy cocida la carne, si el contenido de grasa es bajo la carne se vuelve seca y dura. Forrest (1975) y Smith et. al., (1993) han expresado la existencia de una correlación entre jugosidad y el nivel de engrasamiento para los diferentes cortes de la canal.

### 3) Terneza de la carne:

Se puede definir como la capacidad de la carne para dejarse cortar y masticar. A ésta contribuyen las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, las del tejido conectivo y principalmente colágeno. Las características del colágeno dependen del tipo del músculo y del animal, particularmente de su edad al sacrificio.

Los factores que influyen en la terneza de la carne se pueden dividir en:

- a) Antemortem
- b) Postmortem

#### a) Factores antemortem

Influyen en la terneza de la carne porque incluyen características genéticas, factores fisiológicos, alimentación y prácticas de manejo de los bovinos (Desrosier, 1977).

#### b) Factores postmortem que influyen en la terneza de la carne:

- I. Temperatura de almacenamiento
- II. Maduración
- III. Refrigeración
- IV. Congelación

I. Temperatura de almacenamiento. En términos generales a mayor temperatura de almacenamiento mayor es la posibilidad de obtener una carne más tierna.

II. Maduración. Durante este período la terneza de la carne mejora debido a una proteólisis postmortem de las proteínas miofibrilares que conducen a una fragmentación de la fibra muscular. Cuantos más días se deje madurar la carne, habrá más degradación de las fibras y la terneza de la carne será potencialmente mayor (Santrich, 2006; Forrest, 1975).

III. Refrigeración. La refrigeración ayuda a conservar el tejido muscular retardando el desarrollo de microorganismos y de muchas reacciones químicas y enzimáticas. La velocidad de la glicólisis pre-rigor del músculo vacuno es mayor a 0°C que a 5°C. Esto estimula un descenso más rápido del pH que actúa como barrera para el crecimiento bacteriano. En general, es deseable para la carne fresca una temperatura de almacenamiento lo más baja posible por encima de la de congelación, controlando la humedad relativa del aire de la cámara para evitar pérdida de peso en la canal (Varnam, 1995; Desrosier, 1977).

IV. Congelación. La pérdida o retención de la calidad de los tejidos (terneza) está relacionada con la técnica de congelación que puede ser lenta o rápida y sus efectos se mencionan a continuación.

Congelación lenta. Hay aparición de exudado excesivo durante la descongelación ya que en el músculo se generan cristales de hielo extracelularmente grandes ocasionando la compresión de las fibras musculares. Es posible que las reacciones enzimáticas se aceleren durante la congelación debido a la concentración de cofactores o a la ruptura de membranas que permite a las enzimas interacciones con los sustratos. Otro fenómeno conocido en la relación temperatura-terneza enfriada a pre-rigor a 0°C tiene que ver con el acortamiento de las fibras, endureciéndola notoriamente. Se le llama contracción por frío (Fenemma, 1996).

Congelación rápida. Se forman cristales de hielo por el descenso de temperatura por debajo de  $0^{\circ}$ , cuando se congela el tejido muscular rápidamente se forman cristales de hielo pequeños, tanto intra como extracelularmente (Fenemma, 1996; Santrich, 2006).

## 1.3 TECNOLOGIA DE LA CONGELACION

### 1.3.1 Definición de congelación

El proceso de congelación se caracteriza por un cambio de estado de agua líquida a sólido bajo la acción del frío, o de manera simplificada: la cristalización del agua.

### 1.3.2 Cinética del proceso de congelación

En un producto alimentario, la congelación se traduce en primer lugar en una evolución de la temperatura, no lineal en función del tiempo y que depende de su localización en la muestra. En la figura 4 se muestra una curva típica del proceso de congelación en el centro de una muestra de carne.

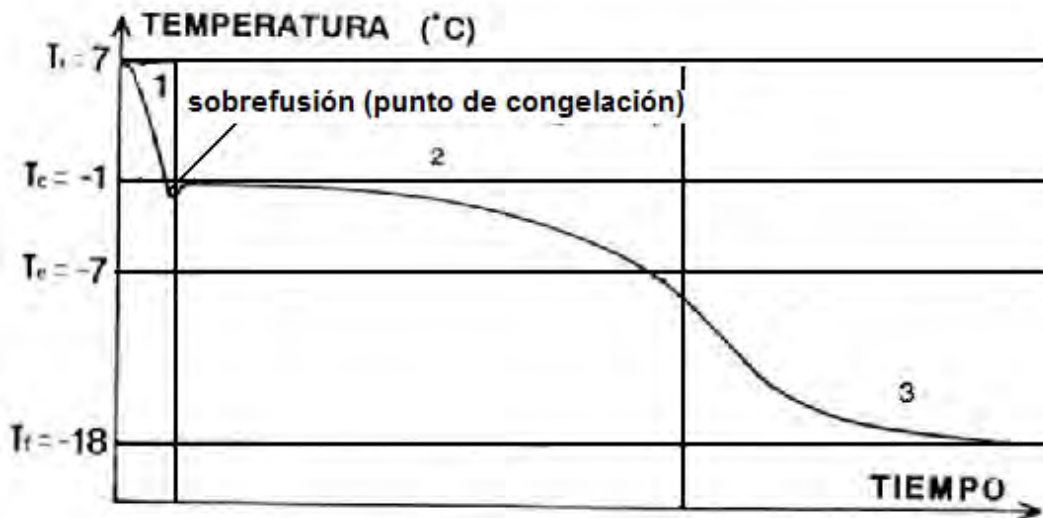


Figura 4. Fases de la congelación de una muestra de carne. (Genot, 2001)

Esquemáticamente, se puede distinguir la sucesión de tres etapas básicas:

- 1) Pre-congelación
- 2) Congelación
- 3) Subenfriamiento

El período de **pre-congelación**. En este periodo durante el cual la temperatura disminuye hasta alcanzar la temperatura a la cual da comienzo la cristalización. El alimento se enfría por debajo de su punto de congelación y es inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ , el agua permanece en estado líquido, a esto se le conoce también como subenfriamiento el cual puede ser hasta  $10^{\circ}\text{C}$  por debajo del punto de congelación, después la temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar nuevamente el punto de congelación pues al formarse los cristales de hielo, se libera calor latente a una velocidad superior a la que éste se extrae del alimento (Genot, 2001).

Etapas de **congelación**. Consiste en la eliminación de calor latente permaneciendo la temperatura prácticamente constante, pero el incremento de solutos en la fracción de agua no congelada provoca el descenso del punto de congelación, por lo que la temperatura disminuye ligeramente como lo muestra el punto 2 de la figura 4. Durante esta etapa una gran parte del agua congelable se transforma en hielo.

Fase de **subenfriamiento**. Es el tiempo necesario para que el alimento pase de la temperatura de congelación ( $T_c$ ) a la temperatura de almacenamiento o temperatura final ( $T_f$ ). En esta fase se da la sobresaturación y cristalización de los solutos y del agua, lo que quiere decir que hay liberación de calor latente que provoca un aumento en la temperatura hasta su temperatura eutéctica (Akyurt, 2001).

Durante la congelación se distinguen dos fases: Nucleación y velocidad de crecimiento de cristales.

**Nucleación.** La temperatura a la cual empiezan a formarse los primeros núcleos: el punto de congelación es inferior a la temperatura de congelación inicial, éste es conocido como fenómeno de sobrefusión o subrefrigeración. Una vez que la nucleación ha comenzado, el sistema libera más calor latente, muy necesario para el crecimiento de los cristales, y la temperatura aumenta rápidamente hasta la temperatura de congelación inicial. La nucleación puede ser homogénea o heterogénea, siendo la segunda la más frecuente en alimentos, donde los núcleos se forman sobre partículas en suspensión o sobre la pared celular (Fernández, 2005).

**Velocidad de crecimiento de los cristales.** Controlada en gran parte por el flujo de calor evacuado de la zona de cristalización y también por la concentración de fluidos intra y extracelulares en curso de congelación, que reduce progresivamente el crecimiento de los cristales (Genot, 2001).

El número y distribución de los núcleos de cristalización depende del proceso de congelación. Este puede clasificarse como:

- 1) Congelación lenta
- 2) Congelación rápida

En la **congelación lenta**, la solidificación del agua tiene lugar en torno a pocos núcleos que dan origen a cristales de hielo grandes que destruyen en proporción significativa el tejido del alimento. Puesto que la concentración de los solutos es



menor en los líquidos intersticiales (entre células) que en el interior del citoplasma, la nucleación comienza y se extiende en estos espacios; acarreado la destrucción de células, el vaciado del citoplasma por ósmosis y lo que es peor, la sucesiva concentración de fluidos en los solutos que contienen (por congelarse el disolvente y tener tiempo de migrar hacia los núcleos) por lo que se forman cristales de hielo grandes y aumentan los espacios extracelulares, las células plasmolizadas disminuyen su volumen; este desplazamiento de agua y acción mecánica de los cristales de hielo provocan efectos negativos en la textura y dan lugar a la aparición de exudados durante la descongelación (Fernández, 2005).

Durante la **congelación rápida** la temperatura del producto cárnico que va a ser congelado cae rápidamente por debajo del punto de congelación inicial, formándose uniformemente por toda la extensión de los tejidos cárnicos numerosos cristales pequeños de hielo que tienen un aspecto como filamentoso, y que se forman tanto intra como extracelularmente, aproximadamente a la misma velocidad. Debido a la rápida caída de la temperatura, a causa de la rápida velocidad de transferir el calor, la velocidad de nucleación aumenta ya que la masa llega a sobreenfriarse y congelarse simultáneamente en muchas partes. En este caso la solidificación se produce en torno a muchos microcristales de hielo por lo que éstos tienen muy pocas oportunidades de aumentar de tamaño. Puesto que la mayoría del agua intrafibrilar se congela intracelularmente, las pérdidas por goteo durante la descongelación son menores que en el caso de la descongelación de la carne congelada lentamente. Por otro lado, el acortamiento y distorsión de la fibra muscular se minimiza durante la congelación rápida, lo que se traduce en una ultraestructura y aspecto estriado del músculo congelado normalmente. Los cambios de volumen son menores y los períodos de cristalización más cortos que en

el músculo congelado lentamente y, en consecuencia, el deterioro mecánico es correspondientemente menor (Forrest, 1975).

### **1.3.3. Periodo de congelación**

Se expresa el periodo de congelación por el descenso de temperatura por unidad de tiempo, o como el tiempo necesario para traspasar un intervalo de temperatura determinado (Jul, 1984).

También se define como el tiempo transcurrido desde el comienzo de la fase de precongelación ( $-1.5^{\circ}\text{C}$ ) hasta que se alcanza la temperatura final, o el tiempo necesario para que la temperatura se reduzca de un valor  $T_1$  a un valor  $T_2$  en el centro del producto (Genot, 2001).

Es el cociente entre la diferencia de la temperatura inicial ( $T_i$ ) y la temperatura final ( $T_f$ ) del producto dividido por el tiempo de congelación ( $t$ ) y se expresa en minutos (Carrión, 1992, Cheftel, 1977; Mallet, 1994).

### **1.3.4. Métodos de congelación**

La congelación de alimentos puede realizarse por distintas técnicas, y dependiendo de ello la calidad del alimento congelado variará. En el caso de los productos cárnicos, uno de los problemas más graves es la pérdida de peso por evaporación de agua, principalmente, cuando se realiza la congelación por medio de aire en convección forzada, cuando los productos no están debidamente envasados o cuando las piezas de carne son pequeñas. Algunos reportes indican que el método

de congelación tiene una influencia moderada en la calidad de los productos cárnicos congelados (Hui, 2006).

#### 1.3.4.1. Congelación por aire

Se utilizan cámaras con o sin circulación forzada de aire. En aquellos espacios donde no existe una adecuada velocidad de circulación del aire, la congelación es lenta y los resultados poco satisfactorios. Algunos de los más eficientes son:

**Túneles de congelación:** Estos equipos pueden funcionar en forma discontinua, donde el producto se coloca en bandejas fijas; o de manera continua, las bandejas atraviesan el túnel. Se componen de un sistema de impulsión de aire frío y serpentines para refrigeración. Son versátiles y se adaptan a productos de múltiples formas y tamaños, envasados o no (aunque es preferible que estén protegidos para evitar daños por frío, pérdida de peso y adherencia a las bandejas). La velocidad de congelación en estos equipos oscila entre 0.5 y 0.3 m/hr (Jaspen, 1978).

**Congeladores de cinta:** Son sistemas continuos, la cinta puede estar dispuesta en forma lineal o en espiral, ocupan poco espacio y son eficientes en la utilización del aire frío. En general se utilizan con temperaturas entre -18 y -35 °C y velocidades que no superen los 20 m/s. El es más efectivo es con aire en contracorriente:

**Congeladores de lecho fluidizado:** El sistema se basa en un flujo de aire frío, que congela las partículas de alimento en forma individual rápidamente (individually quick freezing - IQF). Esto permite su flujo libre y facilidad en el manipuleo y reempaque. Es adecuado para alimentos de tamaño pequeño y uniforme. La

velocidad del gas frío, debe ser tal que permita la fluidización de las partículas, sin que escapen del sistema (Heldman, 1994).

#### 1.3.4.2. Congelación por placas

La transferencia de calor se produce por conducción, el producto es colocado entre placas a través de las cuales circula el refrigerante. Se logra el contacto adecuado ejerciendo presión contra el objeto, mediante un sistema hidráulico. Se usa en general, para alimentos de geometría plana, de no más de 5 cm. Asimismo, la eficiencia de la transferencia calórica depende del buen contacto entre la placa y el paquete, y de los bolsones de aire que queden. Existen congeladores de placas horizontales y verticales (Forrest, 1975; Fellows, 1994).

#### 1.3.4.3. Congelación criogénica

El proceso consiste en introducir el producto en un baño de líquido refrigerante y se transporta, mientras que el líquido refrigerante se evapora absorbiendo calor del producto. Los refrigerantes más comunes son el nitrógeno y el dióxido de carbono.

Nitrógeno: Al tomar el calor del alimento el nitrógeno se evapora, y el gas formado se utiliza para preenfriar los productos antes de su congelado; para que el gradiente de temperatura formado no sea tan grande y brusco. Puede provocar agrietamientos, ya que se forma una coraza superficial de cristales muy pequeños, y cuando ocurre el aumento de volumen por el congelamiento del agua que se encuentra en el centro, se generan fuerzas internas en el producto que superan la resistencia del material congelado en la superficie (Fernández, 2005).

Dióxido de Carbono: se puede utilizar sólido, pero se hace difícil el contacto uniforme con el alimento, aunque puede solucionarse usando el sólido dividido. Lo usual es emplearlo como líquido. Se almacena en recipientes aislados, presurizados y refrigerados para prevenir pérdidas. Cuando se descarga a la presión atmosférica, se solidifica y cae como una nieve. La dosificación es realizada mediante boquillas que aseguran la circulación del gas frío entre los alimentos. La temperatura del sistema y la velocidad de inyección son controladas por una válvula solenoide. En general se utiliza a una temperatura de  $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para asegurar que el gas no arrastrará nieve. Los sistemas de congelación pueden ser gabinetes de operación discontinua, túneles lineales o en espiral. El  $\text{CO}_2$ , también se usa para transporte refrigerado (Fernández, 2005).

Una de las mayores desventajas de los sistemas de congelación por inmersión es el costo del refrigerante, ya que éste pasa del estado líquido a vapor mientras se produce la congelación del producto, resultando muy difícil recuperar los vapores que se escapan del compartimiento.

#### 1.3.4.4. Congelación por inmersión en líquidos incongelables.

Una vez envasado, el alimento, se traslada por una cinta sinfín (normalmente de malla) y atraviesa por un baño preenfriado (no de agua, porque estaría congelada), el baño puede ser una salmuera, propilenglicol o glicerina.

A diferencia de la congelación criogénica, el líquido refrigerante no cambia de estado, el cambio se produce de manera más lenta y menos drástica. Comparadas con las criogénicas, son instalaciones relativamente baratas. Sus transferencias de calor son más elevadas.

## 1.4. TEXTURA

La textura se define como el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de superficie de un producto perceptible por los mecano-receptores y los receptores táctiles (Genot, 2001).

La textura de los alimentos no tiene una definición exacta, precisa y satisfactoria, sin embargo, se puede decir que posee ciertas características:

- Se trata de un grupo de propiedades físicas que derivan de la estructura del alimento.
- Están relacionadas con la mecánica y la reología (Rodout, 2004).

La textura característica de la carne es debida a la estructura fibrosa de ejes del músculo y la forma en que las fibras se separan durante la masticación.

En la carne la textura está en función a 2 características mencionadas en el primer capítulo que son: la terneza y la jugosidad (Rosenthal, 2001).

La textura de la carne, está dada por el tamaño y desarrollo del tejido conectivo, por su mayor o menor porcentaje en el tejido muscular. En función de la función de los diversos músculos que hay en los animales (Ranken, 2003).

### 1.4.1. Métodos de evaluación de textura de los alimentos.

El estudio de las propiedades mecánicas de los alimentos se efectúa a través de diferentes tipos de pruebas:

- a) Fundamentales: A través de éstas se obtienen las funciones materiales, o sea, aquellas que solo dependen del material y no del instrumento o del método. Los resultados se expresan en términos de potencia de masa, longitud y tiempo y todas las variables son conocidas y controladas. Estas pruebas se refieren sólo a las propiedades reológicas.
- b) Empíricas: son aquellas que se efectúan con instrumentos que con frecuencia son diseñados o contruidos para un material específico, por lo que los resultados son función del instrumento, el método, la carga aplicada, la velocidad de aplicación de la carga, la geometría, dimensiones y orientación de la muestra y las condiciones, lo que ocasiona que no sean reproducibles ni puedan expresarse en términos de potencias de masa, longitud y tiempo. Los instrumentos son sencillos y económicos (Casas, 2001).
- c) Imitativas: son aquellas que tratan de imitar las operaciones humanas sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico (masticación, presión con los dedos, etc.) y asume que las fuerzas de reacción desarrolladas por la muestra representan las reacciones humanas (Rodout, 2004). Las pruebas texturales se realizan con métodos imitativos y empíricos.

Los aparatos de medida son múltiples y muy variados, sin embargo existen dos instrumentos universales que son de utilidad para la medición de propiedades texturales de los alimentos y estos se describen brevemente a continuación:

#### 1.4.1.1. Texturómetro General Food

En este se realizan Análisis de Perfil de Textura conocidos como TPA que se basa en la aplicación de fuerzas a consecuencia de las cuales los alimentos se deforman o fluyen en función del tiempo, por lo que se comprime el alimento dos veces y como resultado se obtiene una curva fuerza-tiempo. Del análisis de esta curva se extraen 7 parámetros texturales: dureza, fracturabilidad, cohesividad, adhesividad, elasticidad gomosidad y masticosidad. Los texturómetros actuales además de efectuar la prueba de TPA realizan pruebas de penetración, corte y dureza así como pruebas bajo tensión y compresión (Casas, 2001).

#### 1.4.1.2. Máquina universal de pruebas (Instron)

Es un equipo que realiza medición objetiva de la textura (evaluación empírica), se emplea con una gran variedad de materiales para estudiar las relaciones tensión-deformación (propiedades mecánicas) mediante compresión o estiramiento. Consta de una cruceta que se encuentra acoplada a un brazo que realiza el movimiento en dirección vertical. Esta cruceta se halla unida a su vez a la celda de carga en la cual se coloca el dispositivo de prueba (Lewis, 1993; Sharma, 2003). La diferencia entre este equipo y el Texturómetro General Food es que el Instron maneja un intervalo de esfuerzos muy amplio.



### 1.4.1.3. Propiedades mecánicas

Describen la forma en que un material, soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas o bajas temperaturas y tienen como finalidad estimar o evaluar la magnitud de algún aspecto de la textura de los alimentos (Alvarado, 2001). A continuación se definen algunas propiedades de los alimentos:

- a) Módulo de compresión. Es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación del material. La figura 5 es una gráfica de esfuerzo contra deformación para un material. A medida que el esfuerzo aplicado aumenta, la deformación aumenta en proporción directa (Sharma, 2003). El módulo de compresión es la pendiente de esta línea recta (figura 5). Se expresa de la siguiente forma:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo

$\varepsilon$  = Deformación

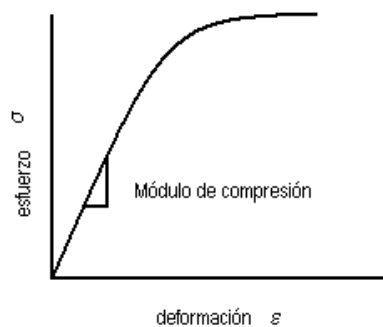


Figura 5. Módulo de compresión de un material

- b) Módulo de cizalla. Considérese un cubo de un material sometido a una fuerza cizallante  $F$  a lo largo de una superficie  $A$  (figura 6). En este caso la tensión de cizalla viene dada por:

$$\tau = F/A$$

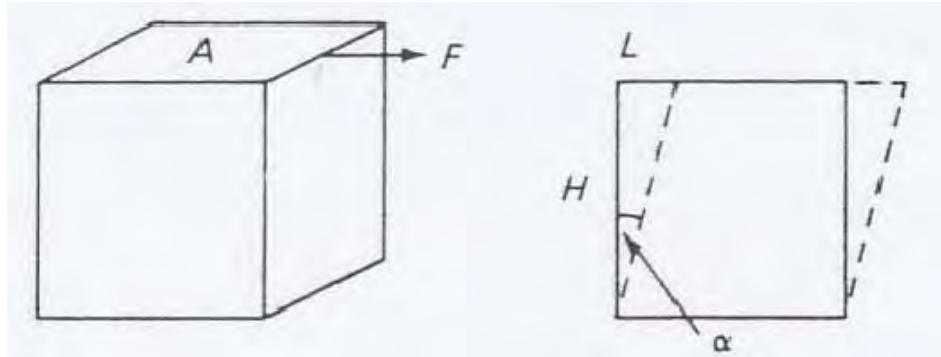


Figura 6. Módulo de cizalla de un material (Lewis, 1993).

La cantidad de deformación a la cizalla viene dada por  $L/H$  o  $\text{tg } \alpha$  (Lewis, 1993). El módulo de cizalla se expresa:

$$G = \tau / \text{tg } \alpha$$

- c) Carga máxima. Es el esfuerzo máximo aplicado para que se de la ruptura del alimento (figura 7).

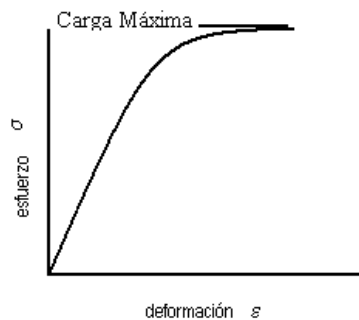


Figura 7. Carga máxima de un material

- d) Tenacidad. Es la habilidad para absorber energía durante la deformación plástica, es la propiedad de ciertos materiales de soportar sin deformarse

ni romperse los esfuerzos que se le apliquen (Valencia, 2006). Es el área bajo la curva de esfuerzo-deformación (figura 8).

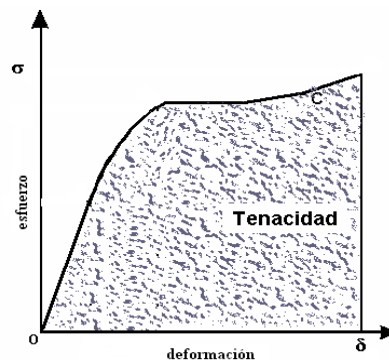


Figura 8. Tenacidad de un material (Cuadrado, 2006)

e) Energía de borde. Es la resistencia que opone el material a ser deformado (figura 9).

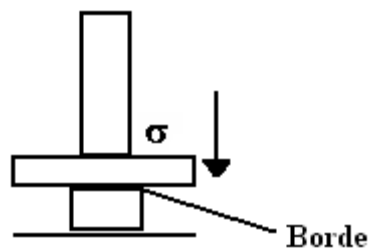


Figura 9. Compresión de un material

#### 1.4.2 Prueba de compresión.

El ensayo consiste en aplicar esfuerzos constantes y crecientes ( $\sigma$ ) hasta llegar a la ruptura (materiales frágiles) o al aplastamiento (materiales dúctiles), y anotar continuamente la evolución simultánea de la deformación del producto y del esfuerzo ejercido para obtener esta deformación, lo cual se observa en la figura 10.

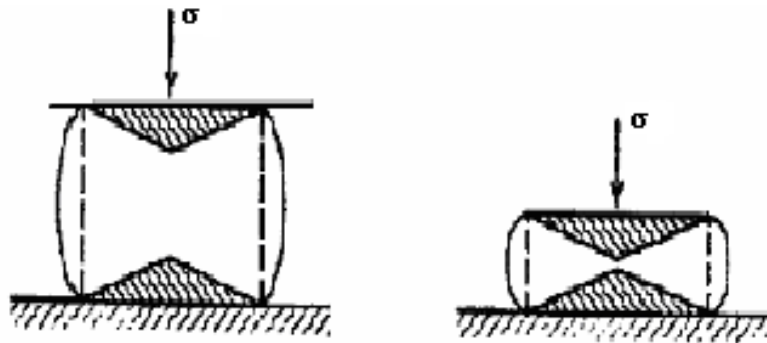


Figura 10. Representación esquemática de un ensayo de compresión (Wahabi, 2002).

El uso de equipos como la maquina universal de pruebas INSTRON, permite estudiar las relaciones tensión-deformación mediante la compresión o la tensión, en muestras de formas geométricas normalizadas paralelepípedos o cilindros, sacados del producto a estudiar y cuyo tamaño debe ser pequeño.

Un ensayo de compresión sobre un producto alimentario proporciona, típicamente una curva de la forma representada en la figura 11 en coordenadas esfuerzo-deformación. Donde  $A$  representa la carga máxima antes de la ruptura del alimento y  $\sigma_A$  es el esfuerzo necesario para llegar a  $\epsilon_A$  que es la deformación máxima antes de la ruptura.

Se define el esfuerzo como el cociente entre la fuerza aplicada y la superficie de contacto, mientras que la deformación viene dada por el cociente entre la variación de altura de la muestra y su altura inicial.

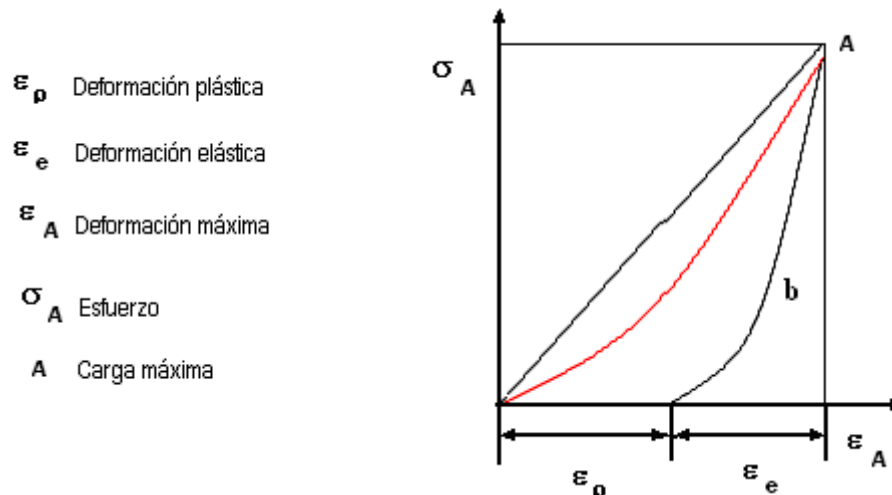


Figura 11. Curva de carga y descarga de un producto alimentario (Roudot, 2004)

Se puede señalar que la curva de compresión es muy cóncava en el origen y después tiende hacia una recta. Esta concavidad se debe a un defecto de paralelismo entre los dos planos de aplastamiento del tejido del producto en estudio. También se observa que al aplicar una carga sobre el alimento se provoca una deformación (curva roja), el alimento no es elástico por lo que al dejar de aplicar la fuerza no recupera su longitud original (curva b); es decir, mientras más amplia sea la zona de  $\epsilon_D$  quiere decir que el alimento sufre mayormente una deformación plástica y la deformación será permanente,  $\epsilon_e$  representa la zona elástica a mayor amplitud de esta zona el producto habrá sufrido una deformación elástica con lo cual esa deformación puede ser de cierto modo reversible.

Por otro lado, el del módulo de Young es un indicador de la resistencia que tiene un material sometido a un esfuerzo de tensión o compresión y se interpreta como la máxima fuerza que se puede aplicar al material sin romperlo. Es característico de cada material y es independiente de la forma y tamaño de la muestra empleada en su medición. El valor de éste parámetro nos indica la firmeza del material, en la

carne la firmeza es una característica de la textura que se busca evaluar y el módulo de Young nos ofrece esa posibilidad.

### 1.4.3 Prueba de penetración.

Este ensayo consiste en introducir una longitud dada de un punzón, de forma y tamaño conocidos, en el alimento. El ensayo básico mide la fuerza necesaria para realizar esta penetración. En la figura 12 se representa ésta prueba mostrando que el diámetro y la longitud del punzón o aguja dependen del tipo de alimento que se someterá a la prueba, el espesor y longitud de la probeta o muestra.

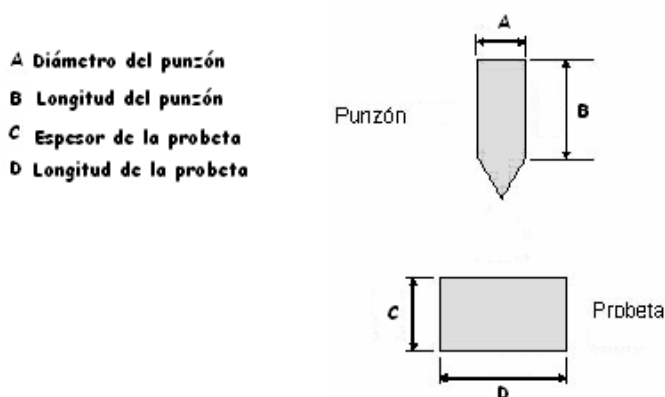


Figura 12. Prueba de penetración (Hurtado, 2005)

En las pruebas de penetración el alimento es sometido a una combinación de compresión y cizallamiento, este último se define como esfuerzos tangenciales entre dos bloques. Como resultado puede producirse flujo en materiales fluidos o semisólidos debido a la debilidad de la estructura y en materiales de estructura más fuerte el material se cizalla y comprime además del flujo.

Puesto que la dureza se define como la fuerza por unidad de área de contacto, es necesario calcular el área de contacto entre la muestra y el dispositivo en el tiempo establecido para la penetración. El área de contacto estará en función de

la distancia penetrada y la forma geométrica del dispositivo. En materiales sólidos la prueba es destructiva. (Hurtado, 2005).

#### 1.4.4 Efecto de la temperatura sobre propiedades mecánicas.

Los ensayos descritos anteriormente se llevan a cabo a temperatura constante, sin embargo la textura de los alimentos cambia al ser tratados bajo algún proceso térmico ya sea la congelación o la cocción.

Todas las curvas mostradas en la figura 13 ejemplifican el comportamiento de un polímero, a bajas temperaturas. La elongación o deformación a la ruptura es muy pequeña a bajas temperaturas, e incluso el material no presenta fluencia, por lo que es muy frágil. A medida que se va incrementando la temperatura la deformación a la ruptura aumenta y aparece la fluencia. Luego, la elongación a la ruptura incrementa enormemente, aunque vuelve a disminuir cuando el material es suave. El módulo, por otro lado, tiende a disminuir con el aumento de la temperatura. Aunque no es siempre aplicable, si se piensa en la superposición tiempo-temperatura para materiales viscoelásticos (Smith, 1993; Echeverría, 2003).

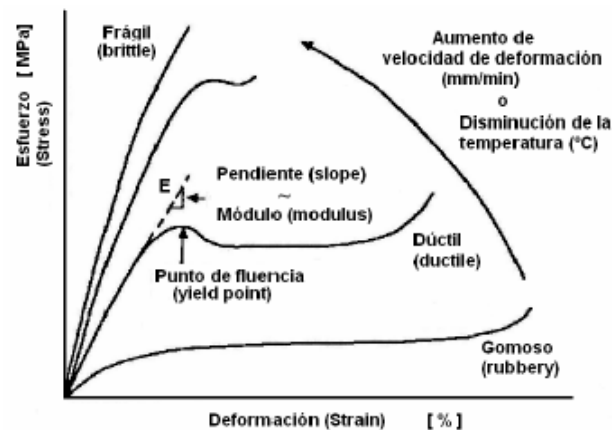


Figura 13. Curvas de esfuerzo-deformación mostrando diferentes comportamientos según las condiciones en las que se realice el ensayo (Smith, 1993)

## **1.5. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE LA CARNE**

Cuantitativamente el agua es el constituyente más importante de la carne; la capacidad de retención de agua (CRA) es una propiedad de la carne de la que dependen el color, la dureza y la jugosidad de los productos cárnicos (Hamm 1981; Offer et al., 1989). De ésta dependen dos importantes parámetros económicos: las pérdidas de peso y la calidad de los productos obtenidos.

La retención de agua es una propiedad fundamental en la carne y productos cárnicos, ya que se relaciona con la jugosidad y la ternura. El agua se asocia con la superficie de las proteínas por interacciones dipolo-dipolo y por puentes de hidrógeno y forma una sola capa o monocapa en la superficie de las proteínas. Esta agua, que representa 0.3 gramos de agua por gramo de proteína, tiene propiedades diferentes al agua libre, y está fuertemente ligada a la proteína. El resto del agua está adsorbida o atrapada en capilares, poros, células u otras estructuras y puede fluir libremente (Hui, 2006).

Son varios los factores que influyen en la retención de agua como: a) pH b) grado de acidificación, c) temperatura, d) procesos de conservación como la congelación.

### **1.5.1 Factores que influyen en la capacidad de retención de agua de la carne**

El pH. Es un factor importante ligado a la CRA, el descenso de pH provoca un encogimiento de la red de cadenas polipeptídicas que conlleva a una disminución de la carne a retener agua. Cuanto más alto es el pH la CRA aumentará. Cuando la caída de pH es acelerada, las alteraciones sufridas por las proteínas miofibrilares



y sarcoplásmicas se traducen en descenso en el poder de retención de agua (Oliver *et al.*, 1990).

Temperatura. Con respecto al calentamiento varios estudios (Martens *et al.*, 1982) han demostrado que un incremento de la temperatura produce un aumento de las pérdidas por cocinado. La elevación de la temperatura interna tiene un efecto significativo en el agua libre y ligada. La temperatura óptima para conversión de agua ligada en agua libre es de 70° C. Calentando el músculo a mayores temperaturas disminuye la CRA debido a la agregación de los sistemas proteicos. La disminución de la CRA se aprecia a partir de los 40° C y la modificación más importante tiene lugar entre los 40 y 50° C. La duración del calentamiento influye como máximo en el 10% de la disminución de la CRA, a temperaturas de calentamiento relativamente bajas (50-60° C).

Pérdidas de peso por evaporación. Se deben a que la presión parcial de vapor de agua en el entorno- generalmente aire- es inferior a la del producto. Estas pérdidas son directamente proporcionales a la superficie de contacto, a la diferencia de las presiones de vapor y a la duración del tratamiento. Esta propiedad depende, en particular, de la velocidad de circulación del aire y del estado físico del producto (Genot, 2001; Lawrie, 1985).

Congelación. La formación y modificación de cristales de hielo conducen a una redistribución del agua, que afecta a su acceso en los sitios originales (rehidratación proteica y CRA) resultando una eliminación de agua de los tejidos como exudado. La pérdida de CRA del tejido es por la acumulación de solutos y su relación con las membranas, además de la distorsión del tejido resultado de la formación de grandes cristales extracelulares.

Descongelación. Las pérdidas de peso que sufren los músculos durante la descongelación son menores al estar los músculos unidos al esqueleto; esto tiende a reducir la exudación al mínimo. Deben descongelarse lentamente para reducir el goteo al mínimo (Onega, 2003).

Estas pérdidas dependen, de las condiciones de congelación, de la velocidad del aire, de su temperatura y de su humedad relativa. Las pérdidas son elevadas hasta que el producto alcanza la temperatura de congelación. La congelación, inmediatamente después del sacrificio, permite limitar estas pérdidas (Lawrie, 1998); pero, durante la congelación, se produce, en ocasiones, un endurecimiento de la carne, especialmente en el caso de canales de vacuno y ovino.

### **1.5.2. Técnicas para medir la retención de agua en la carne.**

#### **a) Técnicas basadas en pérdida de peso:**

*Goteo.* Se mide manteniendo las piezas de carne en bolsas de polietileno; después de un intervalo determinado se mide el peso o volumen del líquido recogido en el fondo de la bolsa. El goteo de la carne es pequeño (aproximadamente 0-3%) pero en casos excepcionales puede ser más alto (Onega, 2003).

*Cocinado.* Se basa en el cálculo del agua expulsada a partir de una muestra de carne, una vez que ha sido sometida a cocción en un baño de agua en ebullición.

b) Técnica de laboratorio:

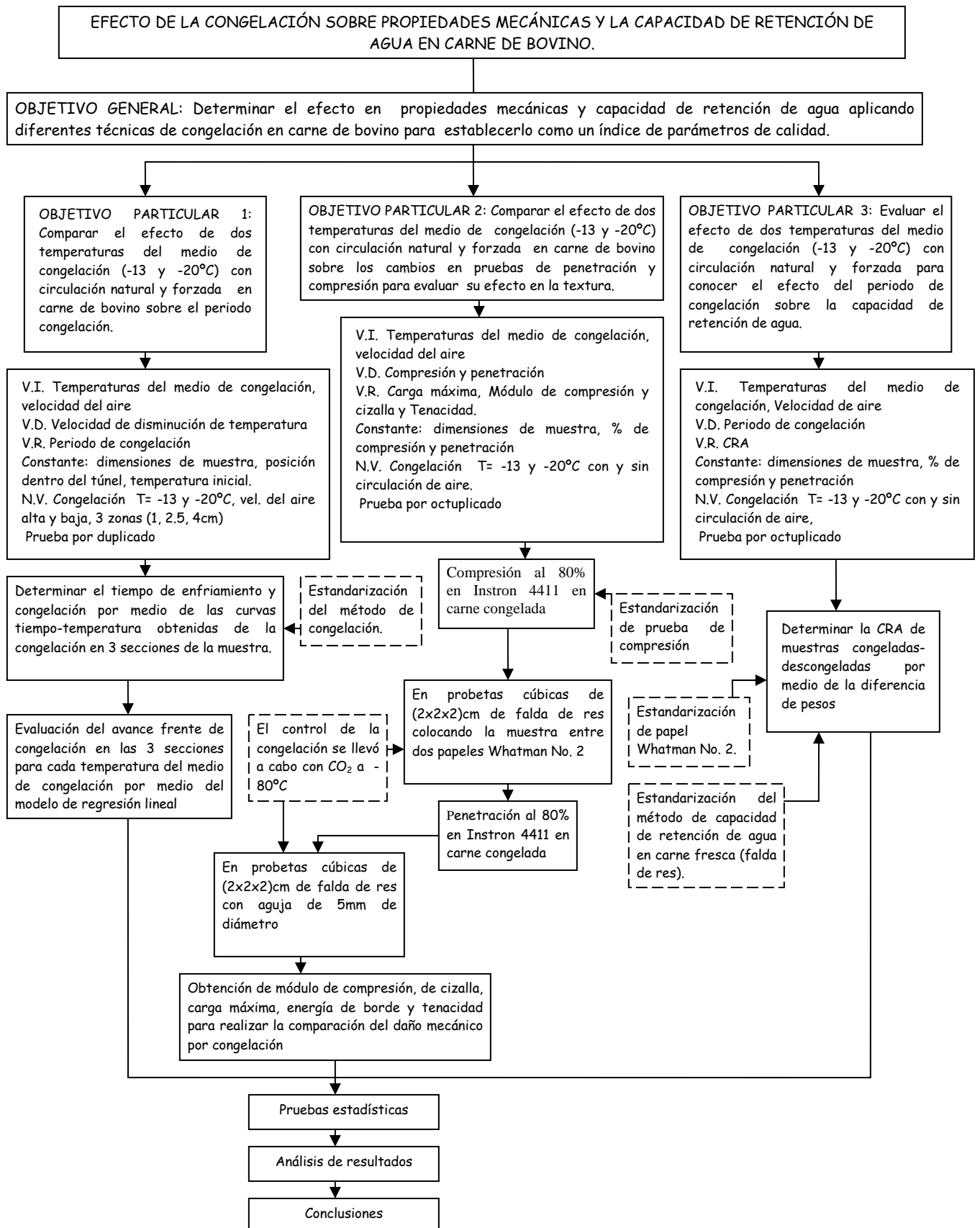
Centrifugación. La proporción de líquido extraído de la carne depende de las condiciones en las que se realice la extracción; por medio de la centrifugación a velocidades altas, es posible conseguir resultados constantes.

c) Técnica de presión en papel de filtro:

Compresión. Se ha de observar especialmente el método de la prensa de Grauhamm. Un peso estándar de muestra sobre un papel de filtro se presiona entre dos placas, y se anota el área del papel humedecido por el líquido exudado procedente de la muestra. La presión aplicada no es muy crítica, por ejemplo se puede emplear un simple tornillo manual; otra variación de este método es pesar la muestra antes y después de la compresión para registrar la diferencia de peso y expresarla como cantidad de agua expulsada (Ranken, 2003; Hamm, 1981).

## **CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

## 2.1 CUADRO METODOLÓGICO



## 2.2. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

Para comparar el efecto de dos temperaturas del medio de congelación de  $-13$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación natural y circulación forzada del aire en carne de bovino sobre el tiempo de congelación.

Para lo cual primeramente se realizó la estandarización de la congelación de la carne:

- a) Control de la materia prima: El seccionamiento de las muestras se hizo con cuchillos y navajas de afeitar para cortar tejidos y nervios. Las dimensiones de las placas fueron de  $(5 \times 5 \times 2)\text{cm}$  y con un peso promedio de  $70\text{g}$ , para cada corrida se necesitaron 3 placas y se efectuaron 2 corridas.
- b) La congelación de falda de res se realizó en el túnel didáctico de congelación por aire marca Armfield con temperaturas del medio de  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $-13^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de  $2\text{ m/s}$  para el caso de circulación natural y  $5\text{ m/s}$  para circulación forzada. Las placas de carne se colocaron en la charola central del túnel y para que el flujo de aire fuera en una sola dirección, a las charolas se les pusieron 2 placas de acrílico, colocando una en la parte trasera y otra en la parte delantera con una ranura que permitiera la entrada de los termopares, con la finalidad de que el aire solo tuviera una dirección.
- c) Se utilizaron cinco termopares tipo "T" cobre-constantan que se conectaron al dispositivo Scanning Thermocouple Thermometer que por medio de un software permitió obtener el registro de temperaturas dentro de la placa de

carne en intervalos de tiempo (cada 15 segundos) para obtener un número de datos que demuestren el comportamiento de la muestra. La dirección del aire dentro del túnel es horizontal, por lo que los termopares se introdujeron en 3 zonas (1, 2.5 y 4cm.) a la mitad del espesor de la muestra (1cm) para obtener el perfil de temperaturas en toda la muestra; el arreglo usado se ilustra de la siguiente figura:

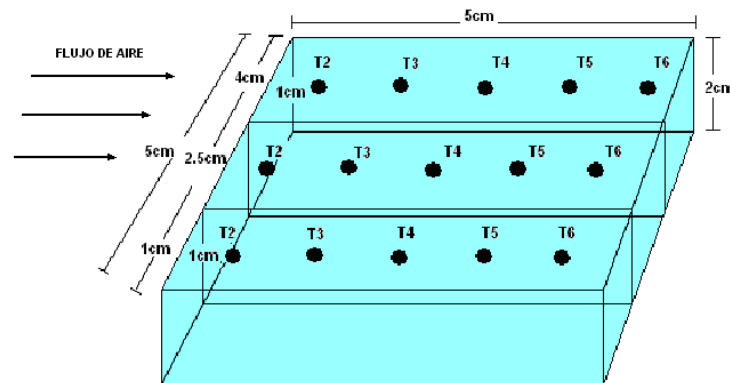


Figura 14. Acomodo de termopares en la placa de carne dentro del túnel de congelación

El perfil de temperaturas se realizó por zonas, primero se introdujeron 5 termopares en la zona 1 (1cm.), en segundo lugar se introdujeron los mismos termopares pero en la zona 2 (2.5cm.) y en tercer lugar se obtuvo el perfil de temperaturas en la zona 3 (4cm.); cabe mencionar que para analizar las 3 zonas se utilizaron 3 placas de carne de las dimensiones especificadas en el control de materia prima.

El periodo de congelación se evaluó alternadamente en las 3 zonas a diferente distancia y colocados los termopares en el plano medio de la placa; para determinar cual es la zona que tarda mayor tiempo en congelarse. El periodo de congelación se expresa por el descenso de temperatura por unidad de tiempo; sin

embargo, es preferible referirse al periodo de liberación de calor o al tiempo necesario para traspasar un intervalo de temperatura determinado (Mallet, 1994). Por tal motivo, por medio del perfil de temperaturas realizado en la muestra se obtuvo el tiempo necesario para que las placas de carne traspasaran el intervalo de temperaturas de  $T_i=5^{\circ}\text{C}$  a  $T_f=-20$  y  $-13^{\circ}\text{C}$ .

d) Una vez que se obtuvo la temperatura final las muestras se almacenaron en un recipiente isotérmico en un congelador doméstico a temperatura de  $-8^{\circ}\text{C}$  para conservar su temperatura un rango de tiempo corto mientras se preparaban las muestras para las pruebas mecánicas.

### **2.2.1. Estandarización de pruebas de compresión.**

Para esta prueba se utilizaron 2 placas de carne con las dimensiones especificadas anteriormente y congeladas a 2 temperaturas del medio de congelación ( $-20$  y  $-13^{\circ}\text{C}$ ) con velocidad del aire de 5 y 2 m/s con y sin circulación de aire; cada placa se cortó en cubos de  $(2 \times 2 \times 2)$  cm aproximadamente, por lo que se obtuvieron 8 cubos. Cada uno de los cubos se colocó entre dos papeles Whatman No. 2 para realizar la compresión en el Instron 4411 al 80% de su espesor inicial con una precarga de 15.4 N, una velocidad de 50 mm/min., utilizando como dispositivo una placa de 35mm de diámetro; cabe mencionar que para mantener la temperatura tanto en las muestras como en las placas donde se efectuó la compresión se recurrió al uso de 100g de hielo seco ( $\text{CO}_2$ ) con una temperatura de  $-80^{\circ}\text{C}$  que se colocaron en un recipiente cúbico debajo de la placa inferior que contuvo la muestra para evitar la descongelación de los cubos de carne. De esta prueba se obtuvo la curva de esfuerzo-deformación en donde se considera esfuerzo a la relación entre la carga y el área de la muestra y deformación es la relación entre



los mm. de desplazamiento y el espesor inicial de la muestra, de esta curva se extrajeron tenacidad, módulo de compresión y energía de borde. Posteriormente se realizó una media podada para obtener la mayor homogeneidad posible en los resultados y se realizó un análisis de varianza con una significancia de 5%.

### **2.2.2. Estandarización de pruebas de penetración.**

Para esta prueba se utilizaron 2 placas de carne con las dimensiones especificadas anteriormente y congeladas a 2 temperaturas del medio de congelación (-20 y -13°C) con velocidad del aire de 5 y 2 m/s con y sin circulación del aire; dichas placas se cortaron en cubos de 2.5x2.5x2cm aproximadamente, por lo que se obtuvieron 8 cubos; las muestras se ensayaron en el Instron 4411, la prueba fue al 80% de su espesor inicial, con una precarga de 15.4 N y una velocidad de 50mm/min., el dispositivo utilizado fue la aguja de tipo cilíndrica de acero inoxidable de 5mm de diámetro. De esta prueba como ya se mencionó en la prueba de compresión también se obtuvo la curva de esfuerzo-deformación en donde se considera esfuerzo a la relación entre la carga y el área de la muestra y deformación es la relación entre los mm. de desplazamiento y el espesor inicial de la muestra, de esta curva se extrajeron tenacidad, módulo de cizalla y módulo de ruptura. Posteriormente el tratamiento de los datos consistió en una media podada para obtener la mayor homogeneidad posible en los resultados.

### **2.2.3. Estandarización de la capacidad de retención de agua en el papel Whatman no.2.**

- a) Se cortaron 5 círculos de 5 cm. de diámetro de papel Whatman del no. 2, posterior a esto se pesaron en una balanza digital  $\pm 0.001g$ , se añadió agua

gradualmente al papel con ayuda de una micropipeta (50  $\mu$ L), se registraron los aumentos de peso de cada papel hasta el momento que estos dejaron de absorber agua, lo cual se observaba cuando el agua ya no era absorbida por el papel y se drenaba en un vidrio de reloj, lo que indicaba que ya no podía retener más agua. Esta fue una adaptación del método de Grau-Hamm en 1981.

- b) Se realizaron cinco réplicas, obteniendo la relación en peso y el agua absorbida como promedio de las cinco curvas.

#### **2.2.4. Estandarización de pruebas de capacidad de retención de agua por compresión.**

Para el objetivo particular tres que fue establecer la relación entre la capacidad de retención de agua y mediante el uso de dos temperaturas del medio de congelación (-13 y -20°C) con y sin circulación de aire para conocer el efecto del periodo de congelación sobre la calidad de la carne, se efectuó la medición de la capacidad de retención de agua.

Se empleó el método de Grau y Hamm (1981) con una variación que consistió en la colocación de un papel Whatman del no. 2 de 5cm de diámetro en la parte superior e inferior de la carne. La prueba se realizó por octuplicado, utilizando cubos de falda de res de (2X2X2)cm congelados bajo las condiciones explicadas en la primera parte de la metodología y fueron sometidos a compresión a una velocidad de 50 mm/min hasta el 80% de su espesor inicial, en un equipo INSTRON 4411 con una precarga de 15.4 N.

Se registró el peso inicial y final de cada muestra en una balanza digital Scout-Pro OHAUS con una precisión de  $\pm 2\text{mg}$  antes de la prueba de compresión, a continuación se dejaron descongelar en una cámara climática de la marca Figursa modelo CH-6090 durante 2.2 horas a  $8^{\circ}\text{C}$ , y nuevamente se pesaron para tomar la pérdida de peso como desjugo. Posteriormente se obtuvo la CRA por diferencia a 100% con respecto al agua exudada:

$$\%CRA = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final} / \text{peso inicial}) * 100$$

Se realizó una media podada para obtener mayor homogeneidad en los resultados.

### 2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el fin de analizar el efecto de las temperaturas del medio de congelación, se utilizaron las condiciones de congelación que se muestra a continuación.

Tabla 1. Condiciones de congelación de la carne

VARIABLE	NIVELES DE VARIACIÓN	
Temperatura del medio de congelación	$-13^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$
Velocidad del aire	Alta (5 m/s)	Baja (2 m/s)

Se realizaron 2 réplicas para cada nivel de variación. Este diseño se realizó utilizando el software MINITAB 14, considerando las variables mencionadas en la tabla 1.

## CAPÍTULO 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Objetivo particular 1

Con relación al objetivo particular 1 de comparar el efecto de dos temperaturas del medio de congelación con 2 velocidades de circulación del aire en carne de bovino sobre el periodo de congelación, se mostrarán los resultados correspondientes al comportamiento con una temperatura del medio de  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación natural (vel. del aire de 2 m/s) y convección forzada (vel. del aire de 5m/s).

Se consideró finalizado el proceso de congelación cuando las tres zonas (1, 2.5 y 4 cm) descendieron de la temperatura inicial de  $5^{\circ}\text{C}$  a la temperatura final de  $-13^{\circ}\text{C}$  (figuras 15 y 16), se obtuvo el tiempo necesario para traspasar dicho intervalo de temperatura considerado como periodo de congelación; éste método fue utilizado por Añon, et. al. en 1980 y considero el centro de la muestra de carne como el centro térmico, es decir el punto que tuvo el periodo de congelación más extenso para alcanzar la temperatura final.

En las figuras 15 y 16 se muestra el centro térmico que correspondió a la zona de 2.5cm lo que concierne al centro geométrico de la muestra y que se esperaba según Añon, et. al. (1980). La velocidad del aire no influyó en la ubicación del centro térmico ya que tanto para la circulación natural como para la circulación forzada éste fue localizado en la misma zona, la razón es porque durante el crecimiento de los cristales, en la superficie de la muestra el agua libre se congela rápidamente pero algunas moléculas de agua y los solutos presentes emigran hacia

el centro lo que provoca que en este punto la congelación demore más tiempo (Fernández, 2005).

Se observa que los perfiles de temperatura de los 5 termopares al interior de la carne son muy similares e incluso en algunos puntos se superponen unas con otras esto es porque los termopares se colocaron a la misma distancia de la superficie al centro de la muestra y la transferencia de calor es casi la misma en cualquier punto de ésta zona.

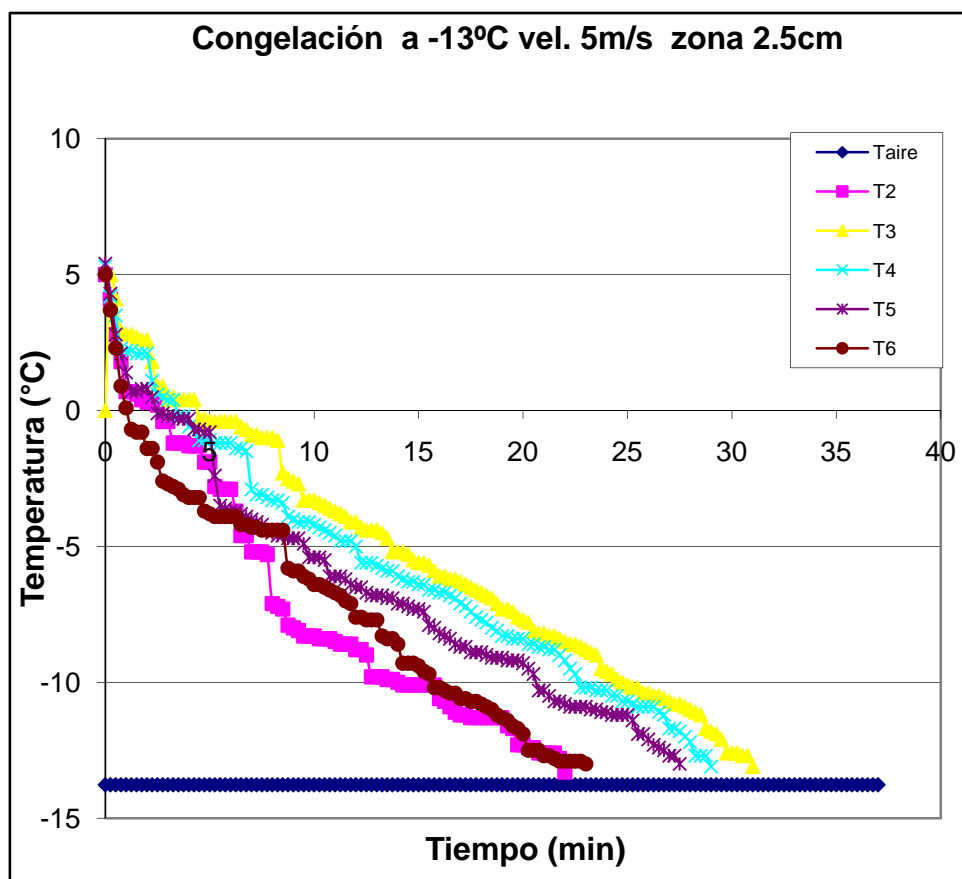


Figura 15. Congelación de falda de res a -13°C con circulación forzada del aire en la zona de 2.5cm

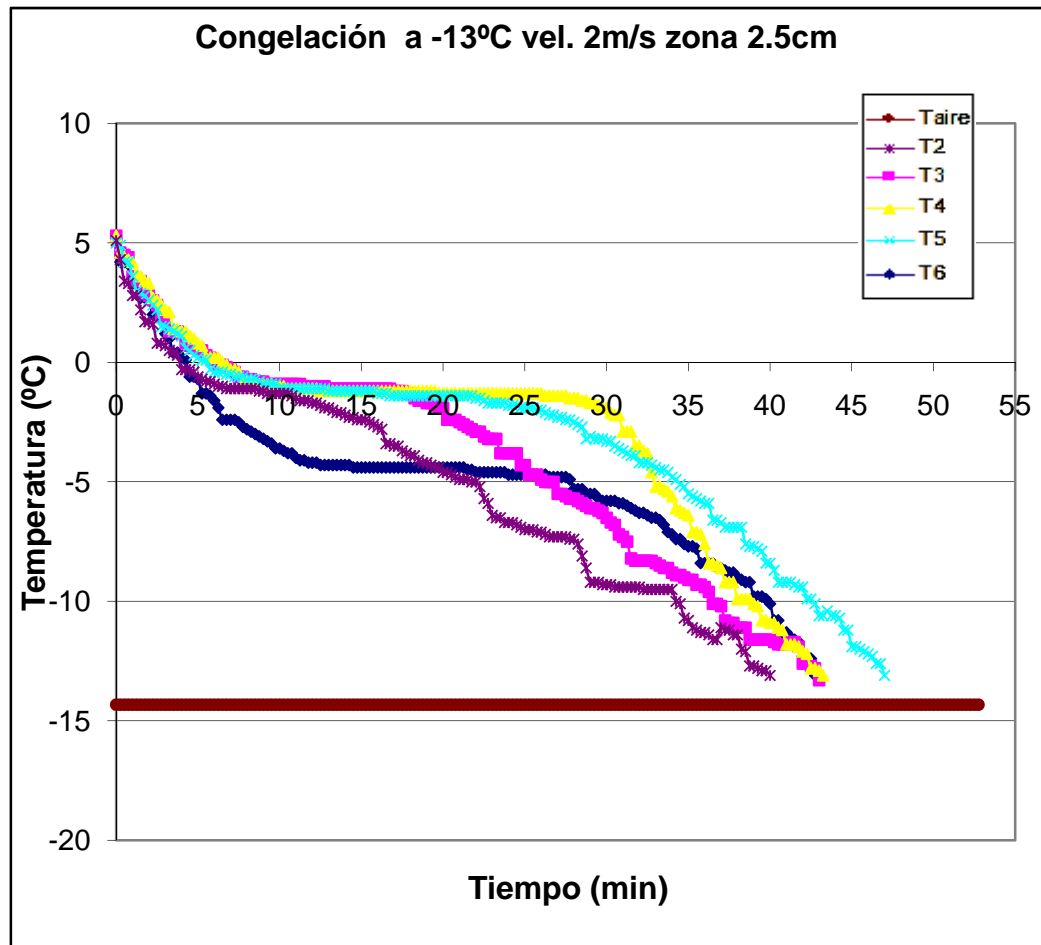


Figura 16. Congelación de falda de res a -13°C con circulación natural del aire en la zona de 2.5cm

En la congelación con una temperatura del medio de -20°C con circulación forzada (vel. del aire de 5 m/s) y circulación natural del aire (vel. del aire de 2 m/s) representada en la figura 17a y 17b, se obtuvo el periodo de congelación pero la temperatura final de la carne fue -20°C ya que ésta temperatura se considera adecuada para la congelación de la carne (Genot, 2001).

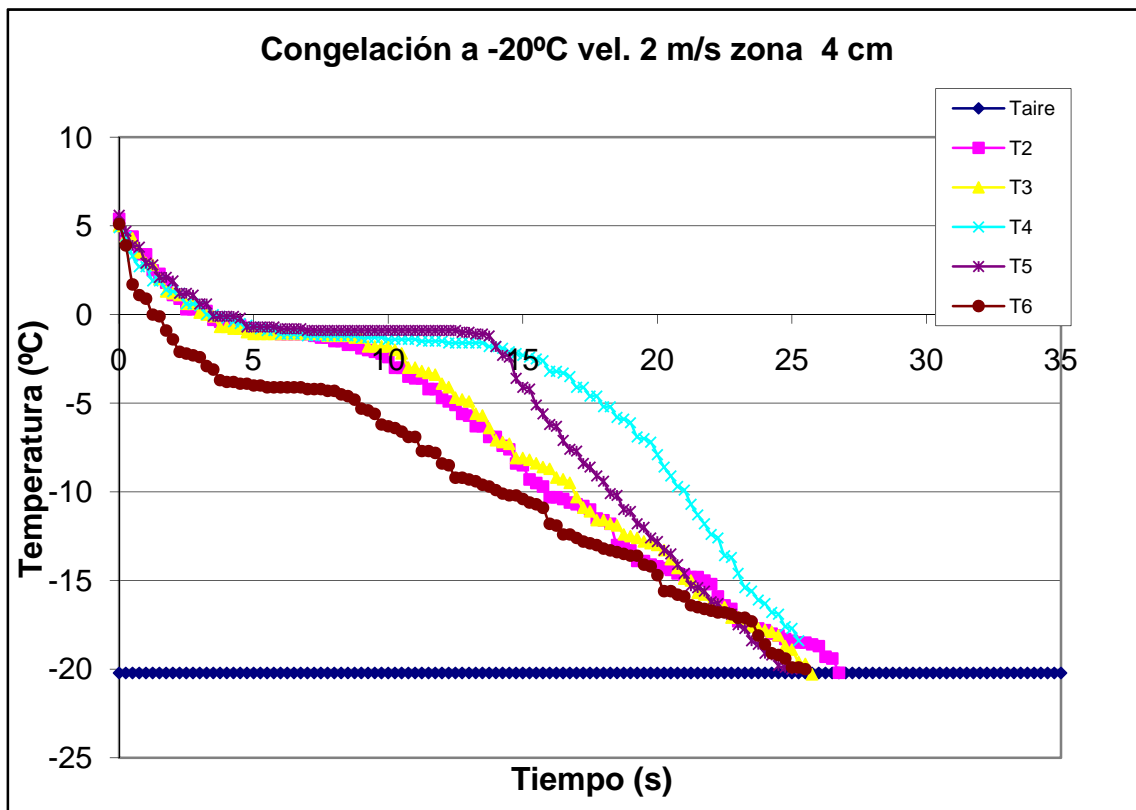
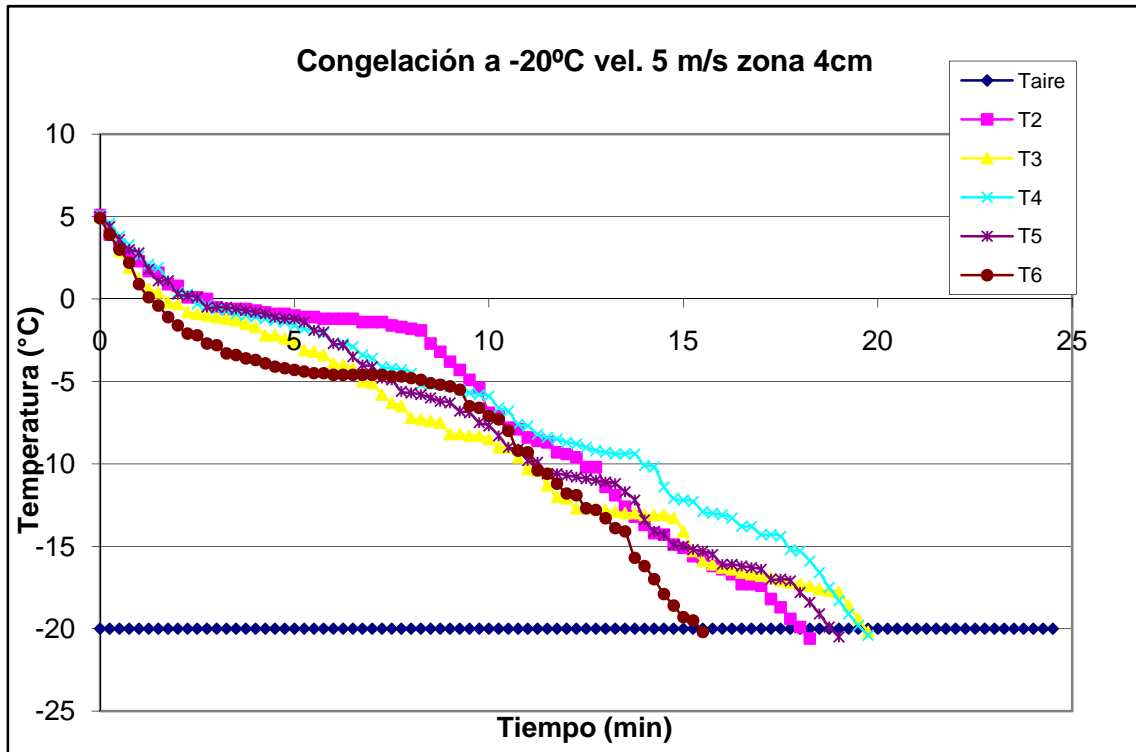


Figura 17. Congelación de falda de res a -20°C con circulación forzada y natural en la zona de 2.5cm

La ubicación del centro térmico fue en la zona de 4 cm. y no en la zona de 2.5cm como ocurrió con la congelación a  $-13^{\circ}\text{C}$ , esto se debió a que el flujo de aire era mayor en la parte delantera de la muestra (zona de 1cm) que en la parte trasera (zona de 4cm), ya que aunque en ambos lados se colocó una placa de acrílico para disminuir el contacto del aire en esa dirección, la parte delantera poseía una ranura que hacía posible la colocación de los termopares, entonces el aire tuvo mayor contacto en esa zona, por lo que al disminuir la temperatura del medio de congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  el gradiente de temperatura entre la muestra y el medio se hace mayor favoreciendo esto a la transferencia de calor por convección en ese punto antes que en la zona de 4cm.

Tabla 2. Periodos de congelación medios para congelación de falda de res a  $-13$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación natural y forzada.

<b>Condiciones del medio de congelación (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Periodo medio de congelación (min)</b>
-13 vel. 2m/s	43.2
-13 vel. 5m/s	26.55
-20 vel. 2m/s	24.25
-20 vel. 5m/s	17.7

Se obtuvieron 5 periodos de congelación en cada una de las zonas evaluadas correspondientes a los 5 termopares que se colocaron en la muestra, con lo cual se calculó una media para obtener un periodo de congelación medio, los resultados se presentan en la tabla 2, en donde se observa que al usar la circulación forzada en la congelación a  $-13^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  el tiempo de eliminación de calor fue 38.5 y 27%



menor respectivamente que al usar circulación natural, éste resultado se debió al fenómeno de transferencia de calor por convección ya que al ser forzada por un ventilador el intercambio de energía entre la superficie de la carne y el flujo de aire es mayor, cuando la convección es natural hay una circulación del aire pequeña provocada por la diferencia de densidades que resulta del gradiente de temperaturas en el aire al entrar en contacto con la carne a su temperatura inicial de  $5^{\circ}\text{C}$  (Geankoplis, 2002). Con respecto al efecto que tiene la temperatura del medio al utilizar la circulación forzada, el periodo de congelación es 59% menor a  $-20^{\circ}\text{C}$  que a  $-13^{\circ}\text{C}$  lo que significa un efecto mayor de la temperatura del medio sobre el tiempo necesario para alcanzar la temperatura final, ya que provoca un descenso en el periodo de congelación y por lo tanto evita que los cristales de hielo crezcan y puedan llegar a dañar la estructura de la carne; James (1996) también demostró que durante la congelación por aire forzado de piezas de carne con espesor de 15cm, el factor preponderante con respecto al periodo de congelación es la temperatura del aire, ya que usó dos temperaturas del medio ( $-10$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ ) y comprobó que el periodo de congelación disminuyó a la mitad, mientras que al usar velocidades del aire de 0.5 y 5 m/s, la disminución del tiempo de congelación es del 29%. Con esto se justifican los resultados obtenidos en ésta etapa experimental.

Un periodo de congelación prolongado implica una velocidad de retirada de calor lenta, en los resultados obtenidos el periodo de congelación más prolongado se obtuvo a  $-13^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 2 m/s y la diferencia con respecto a la congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  y velocidad del aire de 5 m/s es significativa ya que es 2 veces superior, en cuanto a la congelación a  $-13^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 5 m/s y a  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 2 m/s, la diferencia en el periodo de congelación no fue significativa, aunque la tendencia del periodo de congelación fue que

decreció al disminuir la temperatura del medio de congelación. Con esto se comprobó que cuanto menor sea la temperatura el periodo de congelación será menos prolongado y se formará un mayor número de cristales, lo cual es adecuado para preservar la calidad de la carne (Bahillo, 2007).

### **3.2 Objetivo particular 2:**

Para comparar el efecto de la temperatura del medio con convección natural y forzada en carne de bovino sobre los cambios en la textura, las pruebas mecánicas se realizaron sobre las muestras congeladas bajo las condiciones descritas.

#### **3.2.1. Ensayos de penetración en carne congelada.**

En la figura 18 se presenta la curva de esfuerzo-deformación correspondiente a esta prueba mecánica al 80% sobre carne congelada a  $-13$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación natural y forzada (velocidad del aire de 2 y 5 m/s), se observa un comportamiento con baja pendiente en todas las condiciones de congelación con lo que puede comprobarse que la temperatura tiene un efecto muy importante sobre el esfuerzo necesario para la ruptura, ya que al disminuir la temperatura la carne requiere mayor esfuerzo para deformarse por efecto de la inmovilización de las moléculas de agua dentro de la muestra de carne, además el esfuerzo aplicado no es proporcional a la deformación por lo que se tiene un módulo de elasticidad muy bajo y por lo tanto predomina la deformación plástica lo que indica que las muestras de carne no regresarán a su estado original aunque se deje de aplicar el esfuerzo, se observa que a las temperaturas de  $-13^{\circ}\text{C}$  el material no necesita esfuerzos superiores a 0.135 MPa para deformarse en comparación con  $-20^{\circ}\text{C}$  que requiere 0.62 MPa, su deformación es mayor con la temperatura de congelación de  $-13$  lo que quiere decir que la carne es un sólido dúctil porque su deformación continúa a pesar de que el esfuerzo permanece casi constante y al disminuir la

temperatura a  $-20^{\circ}\text{C}$  la carne se comporta como un sólido rígido ya que su resistencia a la deformación fue 4 veces mayor al disminuir la temperatura dentro del túnel de congelación. Esto es porque el porcentaje de agua congelada aumenta a medida que la temperatura de congelación disminuye, lo que da como resultado muestras más rígidas que oponen mayor resistencia a ser comprimidas.

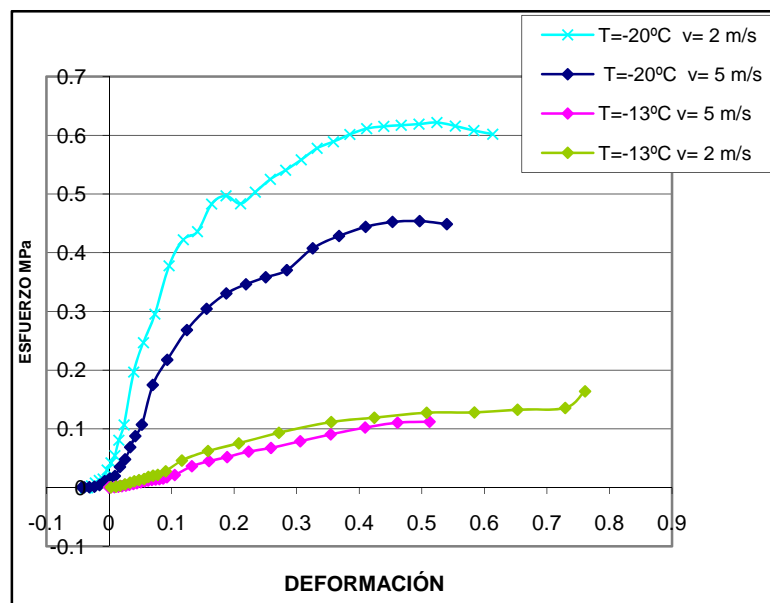


Figura 18. Curva esfuerzo-deformación para prueba de penetración de falda de res congelada a  $-13$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  con y sin circulación de aire

Para los resultados de la prueba de penetración en los cuales observaremos el efecto de dos niveles de temperatura del medio de congelación y dos niveles de velocidad del aire sobre propiedades mecánicas. Se utilizó un análisis de varianza para el tratamiento de los datos en donde los valores de contrastación de hipótesis nula ( $F$ ) son menores a los de  $F$  calculada y los valores de  $p$  obtenido son menores al nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , por lo que la hipótesis de igualdad de medias se rechaza, asumiendo que todas las condiciones de congelación tuvieron un efecto significativo sobre la carga máxima, el módulo de cizalla y la tenacidad.

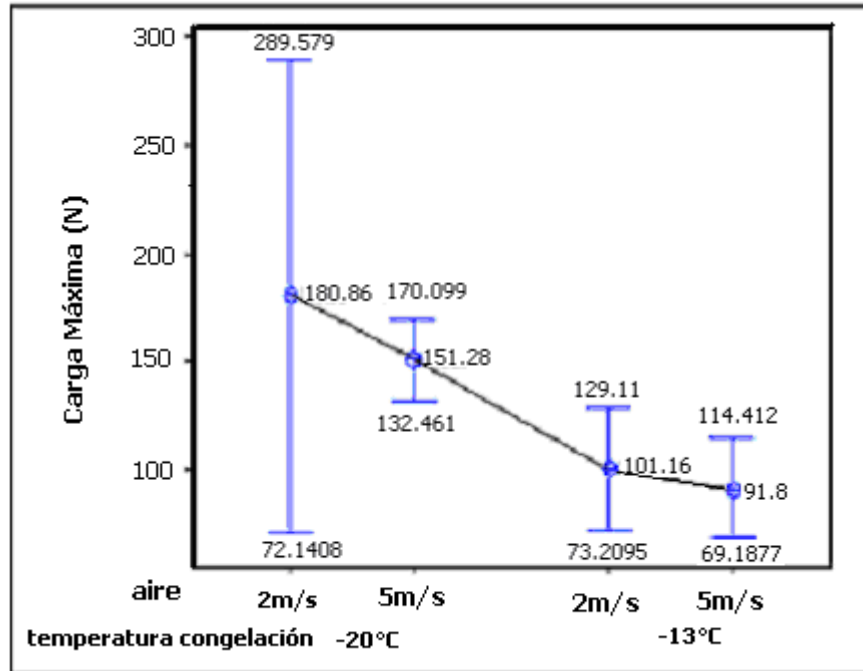


Figura 19. Efecto de las condiciones de congelación sobre carga máxima

En la figura 19 se muestran los resultados de los intervalos de confianza para la carga máxima, y tenemos que el efecto de la temperatura se ve reflejado en los datos presentados ya que el mayor valor obtenido fue de 180.86 N con la temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación natural, al congelar a temperatura de  $-13^{\circ}\text{C}$  los valores de carga máxima disminuyen, así para  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación forzada, se presenta un valor de 91.8 N que es 50.75% menor que para la temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  y circulación natural. Como ya se había mencionado anteriormente la temperatura influye en la cantidad de esfuerzo necesario para deformar la carne, pues mientras más baja es la temperatura del medio de congelación ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) la muestra opone mayor resistencia a la ruptura porque los cristales de hielo que se forman son pequeños y no destruyen el tejido del alimento, por lo que las células permanecen intactas lo cual brinda una mayor resistencia a la deformación, en cambio a  $-13^{\circ}\text{C}$  la solidificación del agua tiene lugar en torno a pocos núcleos que dan origen a cristales de hielo grandes que crecen en los espacios intersticiales

(entre las células) lo que conlleva al rompimiento de las células plasmolizadas que disminuyen su volumen y al vaciado del citoplasma por ósmosis, este desplazamiento de agua y acción mecánica de los cristales de hielo provocan efectos negativos en la textura de la carne (Barreiro et. al., 1996; Fernández, 2005). También se observa que al comparar las dos velocidades del aire para ambas temperaturas del medio de congelación los valores más altos de fuerza de ruptura son con una circulación natural ya que esto representa mayores periodos de congelación lo que provoca además de cristales de hielo de mayor tamaño, formación de hielo extracelular por lo que el equipo requerirá mayor fuerza para poder romper la superficie de la muestra.

En la figura 19 en la congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 2m/s los intervalos de confianza presentan una diferencia significativa en los datos obtenidos oscilan entre 289.5N y 72.1N, el valor medio corresponde a 180.8N, la razón a la cual se atribuye esto es que las pruebas se realizaron en muestras de carne congelada y ya que al salir éstas del túnel de congelación están sujetas a fluctuaciones de temperatura existieron fusiones de cristales debido al almacenamiento posterior al que se sometieron las muestras, ya que éste fue con ayuda de un congelador convencional a una temperatura menor a la de congelación.

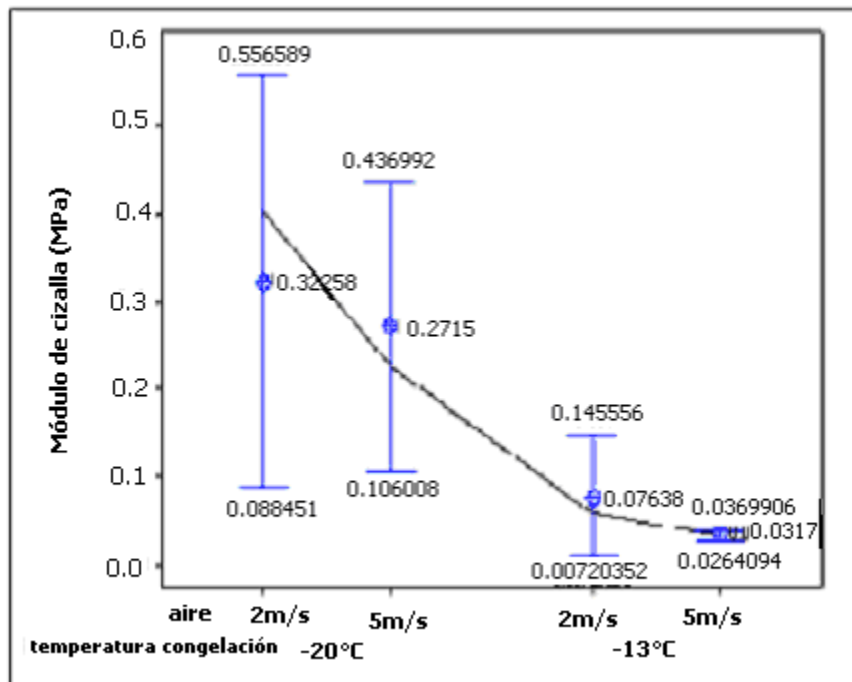


Figura 20. Efecto de las condiciones de congelación sobre el módulo de cizalla.

En la figura 20 se presentan los intervalos de confianza para el módulo de cizalla en donde se observa la interacción de las dos variables de estudio que son temperatura de congelación y velocidad de aire; para congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  y velocidad del aire de 2m/s el valor medio de módulo es de 0.32 MPa, y con circulación forzada (velocidad 5m/s) un valor medio de 0.27MPa representando una disminución del 15.62%, al observar la deformación en la tabla 3 se comprueba que el deterioro mecánico es menor al usar circulación de aire forzada (Forrest, 1975) y para la congelación a  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación forzada y natural, los valores fueron 0.076 y 0.031 MPa, el módulo de cizalla fue mayor con circulación natural por una diferencia de 59.21%; se requirió mayor fuerza para romper la superficie de la carne a  $-13^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 2 m/s, bajo éstas mismas condiciones de congelación el deterioro mecánico fue mayor que al usar circulación de aire a la misma temperatura y que cualquiera de las otras condiciones de congelación

analizadas con un valor de 0.76 de deformación (Tabla 3) debido a que el porcentaje de agua congelada al momento de la penetración es menor, la aguja pudo hacer contacto con parte del agua no congelada facilitando que ésta cortara con mayor facilidad la carne.

En la figura 20 en la congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 2m/s los intervalos de confianza presentan una diferencia significativa en los datos obtenidos ya que se observa una máxima de 0.55MPa y un valor mínimo de 0.08MPa, el valor medio corresponde a 0.32MPa, la razón a la cual se atribuye esto es a las posibles fusiones de cristales que se pudieron presentar debido al almacenamiento posterior al que se sometieron las muestras, ya que éste fue con ayuda de un congelador convencional a una temperatura menor a la de congelación, también se atribuye a que las pruebas se realizaron en muestras congeladas con lo cual se explican las fluctuaciones en los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resultados de la prueba de penetración a diferentes condiciones de congelación

Condiciones de congelación	Periodo de congelación (min)	Deformación
-13 vel 2m/s	43.2	0.760
-13 vel 5m/s	26.55	0.512
-20 vel 2m/s	24.25	0.524
-20 vel 5m/s	17.7	0.496

La tabla 3 presenta los resultados de deformación a la penetración que contrastados con el periodo de congelación es de notarse que la mayor deformación (0.76) ocurre cuando el periodo de congelación es prolongado (43.2 min), ésta deformación es producto de un rompimiento de células provocado por el

crecimiento de cristales entre las células lo que provoca la compresión, el rompimiento y vaciado de las mismas, aumentan los espacios entre ellas provocando la pérdida de cohesión.

Otro factor es que el descenso de la temperatura aumenta el porcentaje de agua congelada de manera que a mayor cantidad de agua congelada menor es la posibilidad de que el agua no congelada emigre hacia la pared externa de la célula y los cristales hielo crezcan, entonces si se realiza un cálculo teórico debido a que a  $-13^{\circ}\text{C}$  el porcentaje de agua congelada es de 80% y a  $-20^{\circ}\text{C}$  es de 90% (Desrosier, 1977), la textura de la carne es más blanda y fácil de deformar, a  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación forzada se obtuvo el periodo de congelación más corto y una deformación 34.7% menor que al congelar a  $-13$  con velocidad del aire de 2m/s, esto implica mayor dureza en la carne pero menor daño mecánico por la congelación.

Con lo anterior se comprueba que una congelación dada por las condiciones de  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación natural, provoca daños en la textura de la carne porque el tamaño de cristal es mayor permitiendo que las fibras de la carne se deformen.

La tenacidad es la propiedad que tienen ciertos materiales de soportar los esfuerzos que se les apliquen, sin deformarse ni romperse. En la figura 21 se muestra el efecto de las condiciones a las que se congelaron las muestras de carne sobre la tenacidad y se encontró que la temperatura del medio de congelación es la condición que afecta más a esta variable, tomando en cuenta que a  $-20^{\circ}\text{C}$  se alcanza el valor de tenacidad más alto, lo cual indica que a ésta temperatura, la muestra sufre menores deformaciones y se vuelve rígida, y al congelar a  $-13^{\circ}\text{C}$  se obtiene el valor más bajo. Esto se esperaba ya que según estudios de Echeverría



en el 2003 sobre la tenacidad a la fractura, ésta se ve afectada por la temperatura del material entre otros factores.

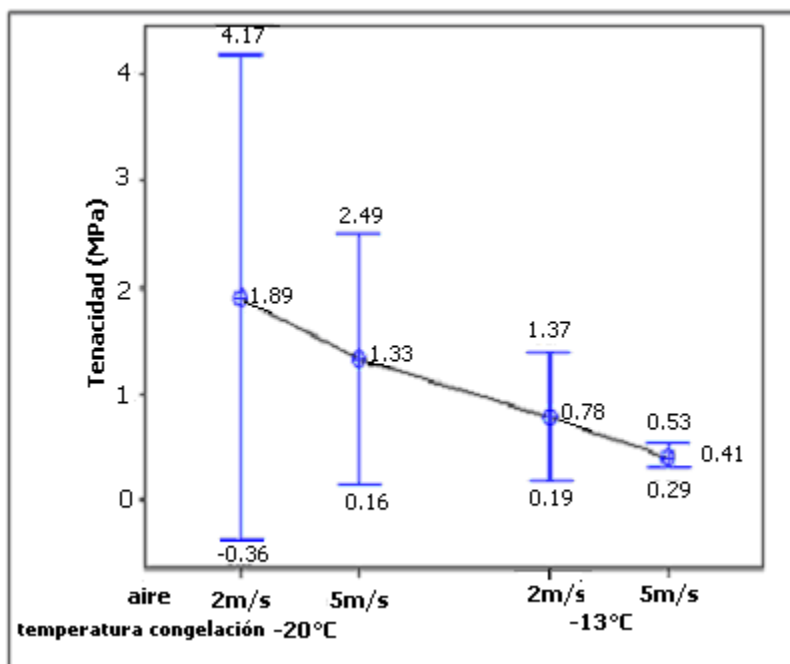


Figura 21. Efecto de las condiciones de congelación sobre la tenacidad.

Al interaccionar las condiciones de congelación, el efecto que tienen estas sobre la tenacidad es que al disminuir la temperatura con velocidad del aire baja provoca un valor de 1.89 MPa de tenacidad que lo hace el más alto y por lo tanto éstas son las muestras más frágiles; pero absorben más energía antes de deformarse; mientras que a temperatura de congelación de  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación forzada, que representa una congelación lenta la tenacidad presenta el valor más bajo obtenido debido a que la temperatura al aumentar incrementa la ductibilidad, se deforma con mayor facilidad y con un valor de esfuerzo casi constante.

En la figura 21 en la congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire de 2m/s los intervalos de confianza presentan una gran diferencia en los datos obtenidos ya

que se observa un valor máximo de 4.17MPa y un valor menor de -0.36MPa, el valor medio corresponde a 1.89MPa.

### 3.2.2. Ensayos de compresión en carne congelada

A continuación se presentan los resultados de la prueba de compresión en los cuales observaremos el efecto de dos niveles de temperatura de congelación y dos niveles de velocidad del aire sobre las propiedades mecánicas. La prueba se llevó a cabo con una precarga de 15.4 N y para evitar la descongelación de la muestra durante el ensayo que tomó aproximadamente 1 minuto, se adaptó un recipiente al INSTRON 4411 para colocar en él 100g de  $CO_2$  con una temperatura de  $-80^{\circ}C$ ; esto provocó un descenso en la temperatura de la placa del INSTRON y así se evitó la exudación de la muestra y la condensación en la superficie de la misma.

En la figura 22 se presenta la curva de esfuerzo-deformación para la prueba de compresión al 80%, a  $-13^{\circ}C$  con circulación natural y forzada, se observa un comportamiento con baja pendiente con lo que podemos comprobar que la temperatura tiene un efecto muy importante sobre el esfuerzo necesario para la ruptura, y se observa que a las temperaturas de  $-13^{\circ}C$  el material no necesita esfuerzos tan grandes para deformarse en comparación a  $-20^{\circ}C$  porque el porcentaje de agua congelada es menor a  $-13$  que a  $-20^{\circ}C$ . Sañudo (2004) efectuó estudios sobre los efectos de la carne de res utilizando dos diferentes dispositivos para la evaluación de la textura utilizando como equipo un INSTRON 4301, en el cual se determinó la compresión máxima a un 80% teniendo como resultado un esfuerzo de 0.45MPa en carne que fue congelada a  $-18^{\circ}C$ . Al observar los resultados en la figura 22 puede notarse que éstos son superiores a los

reportados por Sañudo ya que las muestras de carne adquirieron mayor firmeza al disminuir de  $-13$  a  $-20^{\circ}\text{C}$  y se obtuvieron valores de esfuerzo de 5.8 Y 3.2 MPa para las muestras congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación forzada y natural respectivamente, a  $-13^{\circ}\text{C}$  los valores de esfuerzo no son superiores a los 2 MPa y su deformación es mayor que a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

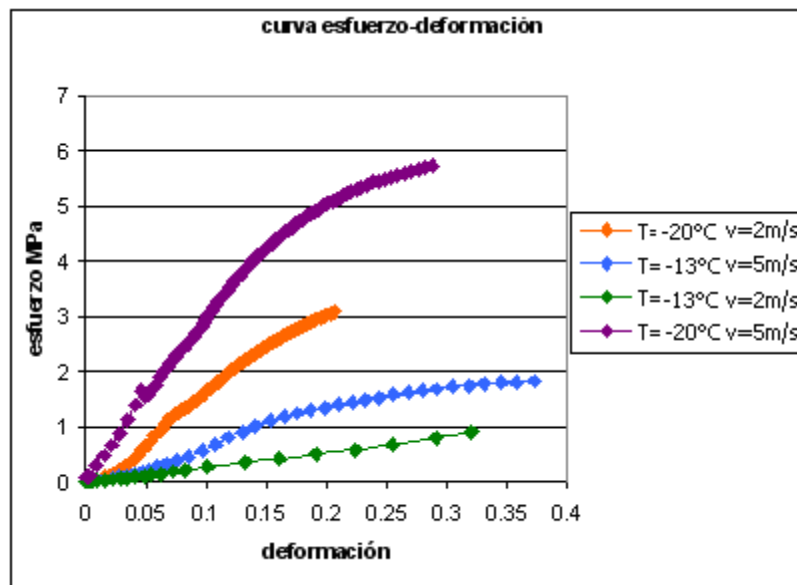


Figura 22. Curva esfuerzo-deformación para prueba de compresión de falda de res congelada a  $-13$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad de aire alta y baja.

La tabla 4 muestra los resultados de deformación a la compresión con respecto al periodo de congelación, la dureza de las muestras es más alta a la temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  ya que su corto periodo de congelación provocó una formación de cristales de hielo de menor tamaño, con lo que los tejidos no se dañaron durante la congelación y es por eso que la deformación fue 50% menor que en la prueba de penetración, en el caso de falda de res para muestras de cúbicas de  $(2 \times 2 \times 2)\text{cm}$  no hay diferencias significativas en los valores de deformación por efecto del periodo de congelación, pero la tendencia que se observa es que la deformación en las muestras congeladas aumenta al ser la temperatura del medio de congelación más alta, lo cual es lógico

porque se ha visto un aumento en las propiedades mecánicas analizadas lo que contribuye a obtener una carne con una mayor dureza.

Tabla 4. Resultados de la prueba de compresión a diferentes condiciones de congelación

Condiciones de congelación	Periodo de congelación (min)	Deformación
-13 vel 2m/s	43.2	0.31
-13 vel 5m/s	26.55	0.37
-20 vel 2m/s	24.25	0.20
-20 vel 5m/s	17.7	0.28

Para el tratamiento de datos se utilizó un análisis de varianza, los valores de contrastación de hipótesis nula (F) son menores a los de F calculada y los valores de p obtenido son menores al nivel de  $\alpha = 0.05$ , por lo que la hipótesis de igualdad de medias se rechaza, asumiendo que todas las condiciones de congelación tuvieron un efecto significativo sobre el módulo de compresión, la tenacidad y la energía de borde.

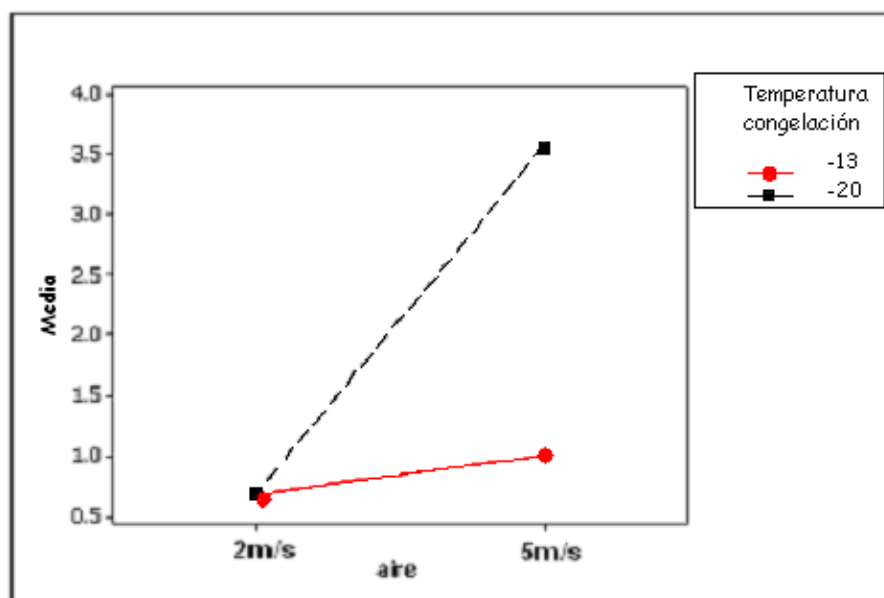


Figura 23. Gráfico de interacción de 2 niveles de Temperatura de Congelación y Velocidad del aire sobre módulo de compresión.

En la figura 23 se presenta la interacción de los niveles de temperatura de congelación y velocidad del aire sobre el módulo de compresión, en donde ambas temperaturas de congelación con velocidad del aire baja obtuvieron un módulo de compresión muy similar e inferior en comparación a las mismas temperaturas de congelación con circulación de aire, de acuerdo a esto, se tiene que al disminuir la temperatura el módulo de compresión aumenta y esto se debe a que como ya se dijo anteriormente al disminuir la temperatura la movilidad de las moléculas dentro de la carne es menor por lo que este efecto es más evidente a  $-20^{\circ}\text{C}$  que a  $-13^{\circ}\text{C}$ . Al analizar el efecto que tuvo el uso de circulación forzada en la congelación de las muestras de carne se tuvo que al usar circulación natural se logró un menor módulo de compresión en ambas temperaturas, ya que en los dos casos el periodo de congelación es más prolongado (tabla 4), en la misma tabla se presentan valores de deformación en donde los mayores fueron para la temperatura de  $-13^{\circ}\text{C}$  y los menores para  $-20^{\circ}\text{C}$ ; sin embargo, el efecto fue inverso para la velocidad de aire, lo que se debió a un endurecimiento por frío, lo que quiere decir que aumenta su deformación plástica, otro factor que influyó en la temperatura de las muestras al momento de hacer la prueba a velocidad del aire de  $2\text{m/s}$  fue la utilización de  $\text{CO}_2$  ya que al ser su temperatura  $-80^{\circ}\text{C}$  provocó que ambas muestras se congelaran a una temperatura similar por lo que su módulo de compresión fue el mismo.

La congelación rápida ( $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación forzada) indujo que el módulo de compresión fuera mayor, lo que quiere decir que las muestras de carne se tornaron más rígidas y tuvieron una mayor deformación elástica que la carne congelada a  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación natural.

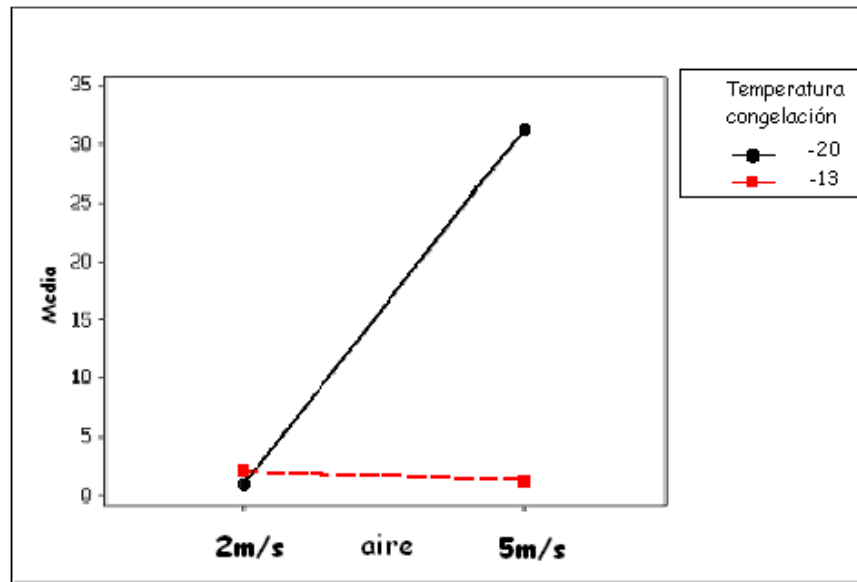


Figura 24. Gráfico de interacción de 2 niveles de Temperatura de Congelación y Velocidad de aire sobre la tenacidad.

En la figura 24 se muestra el efecto de las condiciones a las que se congelaron las muestras de carne sobre la tenacidad, y se encontró que la velocidad del aire es la condición que afecta más a esta variable, ya que al usar velocidad del aire baja el valor de tenacidad en ambas temperaturas de congelación es muy pequeño (0.2MPa), y al usar velocidad del aire alta a  $-20^{\circ}\text{C}$  el valor de la tenacidad incrementa a 31MPa, lo cual indica que a esta temperatura la muestra sufre menores deformaciones porque adquiere una mayor dureza, y al congelar a  $-13^{\circ}\text{C}$  se obtiene el valor más bajo por lo que la carne se comporta como un material dúctil que sufre mayor deformación sin necesidad de aumentar el esfuerzo por lo que estas muestras si presentaron mayores deformaciones plásticas, además el porcentaje de agua congelada es mayor al utilizar circulación forzada a  $-20^{\circ}\text{C}$  y eso induce que la tenacidad sea mayor (Cheftel, 1977). Esto se esperaba ya que según estudios de Echeverría en el 2003 sobre la tenacidad a la fractura, ésta se ve afectada por la temperatura del material, mientras más baja sea la

temperatura de congelación, mayor será la tenacidad y más duro se tornará este, disminuyendo las deformaciones plásticas.

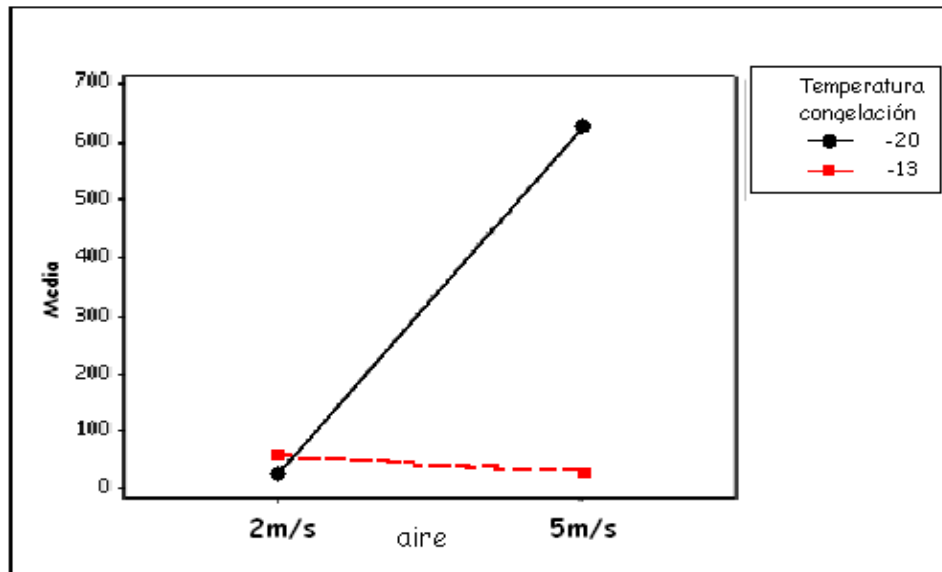


Figura 25. Gráfico de interacción de 2 niveles de Temperatura de Congelación y Velocidad de aire sobre la energía de borde.

En la figura 25 la interacción de los 2 niveles de temperatura de congelación y de velocidad del aire sobre la energía de borde, siguen el mismo comportamiento que la tenacidad, siendo  $-20^{\circ}\text{C}$  con circulación de aire la condición de congelación que tuvo el valor más alto de  $630\text{N/mm}$ , lo cual es benéfico porque quiere decir que se logró una congelación rápida, en la cual, la muestra resistirá mayores esfuerzos antes de su ruptura debido a que al disminuir la temperatura la inmovilización de las moléculas de agua es más fuerte.

Al analizar las propiedades mecánicas de carga máxima, módulo de cizalla, y tenacidad para penetración y Modulo de compresión, tenacidad y energía de borde para compresión se observa que éstas tienden a aumentar significativamente con la temperatura del medio de congelación de  $-20^{\circ}\text{C}$ ; sin embargo, al respecto del

efecto del periodo de congelación sobre la deformación tanto en compresión como en penetración las diferencias no fueron significativas.

Debido a que la primera sensación de la ternura se percibe al momento de morder y cortar las fibras musculares de la carne, la penetración es una evaluación objetiva para medir la fuerza necesaria para cortarla, Ramos en el 2005 evaluó el efecto de distintos tratamientos de congelación sobre carne de pollo procesada térmicamente y obtuvo valores de 3.76MPa para la carne fresca, 3.16MPa para carne de pollo congelada de modo tradicional y 0.92MPa para pollo IQF su temperatura de congelación fue de  $-10^{\circ}\text{C}$ , concluyendo que la carne IQF fue la carne más tierna, al requerir menor fuerza para su corte, para el caso de congelación a  $-13^{\circ}\text{C}$  obtuvimos valores máximos de 0.53 y 1.37 MPa al usar velocidades de aire de 5 y 2 m/s respectivamente, por lo cual, son más tiernas en comparación a las muestras de carne congelada a  $-20^{\circ}\text{C}$  que requirieron 4.17 y 2.49 MPa con velocidad del aire de 2 y 5 m/s respectivamente para conseguir el corte de la muestra.

### **3.3 Objetivo Particular 3:**

Para poder evaluar el efecto de dos temperaturas del medio de congelación con circulación natural y forzada del aire sobre la capacidad de retención de agua de la carne, se registró el peso inicial de cada muestra, después de la prueba de compresión, las muestras se descongelaron a  $8^{\circ}\text{C}$  en un tiempo de 2.2horas en una cámara climática posteriormente se pesaron nuevamente para evaluar la pérdida de peso por exudación.

Posteriormente se aplicó una media podada para tener mayor homogeneidad en los resultados, y se analizaron mediante un análisis de varianza de un factor.



De acuerdo con la tabla 5, el valor de contrastación de hipótesis nula (F) es menor que la F calculada por lo que la hipótesis de igualdad de medias se rechaza, asumiendo que todas las condiciones de congelación tuvieron un efecto significativo sobre el porcentaje de CRA. El nivel de significancia manejado fue de  $\alpha = 0.05$ , por lo que según los valores obtenidos de  $p < 0.05$ , los niveles propuestos de temperatura de congelación y velocidad de aire tienen significancia. Los valores de promedio de porcentaje de CRA presentados a continuación pueden no tener relevancia al compararse uno con otro, pues las diferencias son muy pequeñas; sin embargo, se debe resaltar la importancia en el contenido de agua en la carne y por muy mínima que sea la pérdida de agua ésta causará un efecto sobre la calidad de la carne no solo en jugosidad sino también en textura.

Tabla 5. Análisis de Varianza para porcentajes de CRA.

FUENTES	F	P	Periodo de congelación (min)	Promedio %CRA
CARNE DE RES FRESCA	263272.75	2.1068E-57	-----	98.4
-20°C vel. 5m/s	18639.9706	4.9695E-43	17.7	97.6
-20°C vel. 2m/s	24057.0223	1.6508E-36	24.25	96.5
-13°C vel. 5m/s	16811.3366	1.8057E-42	26.55	94.6
-13°C vel. 2m/s	406.154493	2.4052E-22	43.2	93.5

En cuanto a los resultados de la tabla 5, la CRA de la carne que ha sido congelada a -20°C es 0.84% y 2.03% con velocidad de 5m/s y 2m/s respectivamente, en

función al valor de CRA de la carne fresca y para la temperatura del medio de congelación de  $-13^{\circ}\text{C}$  esta disminuida un 3.86 y 5% con circulación forzada y natural respectivamente., esto se atribuye a la diferencia del periodo de congelación por la formación de cristales de hielo de mayor tamaño los cuales al momento de la descongelación se van fundiendo del exterior al interior. El agua extracelular formada al derretirse los cristales de hielo del espacio extracelular formados durante el periodo de congelación de 43.2 minutos (congelación lenta) no es bien absorbida por las células musculares, como lo fue el agua formada por la fusión de los cristales intracelulares procedentes de una congelación rápida con un periodo de congelación de 17.7 minutos a  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad alta del aire (Onega, 2003). También el porcentaje de agua congelada influyó ya que como se mencionó anteriormente Desrosier hace referencia a que a  $-20^{\circ}\text{C}$  este es de 90% y a  $-13^{\circ}\text{C}$  es de 80% aproximadamente por lo que a mayor porcentaje de agua congelada bajo condiciones de velocidad de aire alta los cristales de hielo formados son pequeños y no destruyen células y por tanto no rompen fibras en la carne conservándose la estructura al momento de la compresión más eficazmente que a la temperatura de congelación más alta en donde existen cristales de hielo que aumentan su tamaño al fundirse con el agua no congelada lo que provoca rupturas en la estructura causando así el deterioro en la capacidad de las fibras para retener el agua contenida al momento de la compresión.

Castro en el 2007 realizó un trabajo para ver la CRA en la carne de reses de Lidia por diferentes métodos y durante la descongelación de las muestras que habían sido congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$  se registró la disminución de la CRA en un 10.26% para los toros y 3.65% para los novillos. Sañudo y otros colaboradores en 1998 trabajaron con 7 razas españolas de bovino teniendo como resultados: 18.6%, 18.9%, 17.6%, 20.3%, 20.4%, 18.9% y 19.7%. Las pérdidas de peso que se obtuvieron en esta

prueba no superan el 10% del peso original, y aunque sus valores decrecen a medida que el periodo de congelación aumenta, al comparar dichos valores con los reportados por Castro y Sañudo estos últimos fueron superiores, y esto fue por dos factores, el primero es el tamaño de la muestra, la evaluación de la prueba se llevó a cabo en muestras pequeñas de carne cuyas dimensiones fueron 2X2X2cm, el segundo factor tiene que ver con la condensación de los cristales de hielo en la superficie de la muestra ya que la humedad relativa dentro de la cámara climática no se consideró porque el periodo de descongelación era muy corto. Por otro lado, los valores obtenidos pueden compararse con los que reportó Fuenmayor en el 2003 al trabajar con 4 tipos de carne ( pollo, cerdo, avestruz y res), los resultados fueron pérdidas por exudación del 2.6% y 3.35% a 0°C, a -13°C con periodo de congelación de 43.2min se obtuvo pérdida por exudación del 5% como valor máximo y a -20°C con una velocidad de eliminación de calor de 17.7min el valor mínimo del 0.8%.

Se puede señalar que la temperatura tiene influencia sobre la CRA de la carne y que al disminuir ésta, provoca menores tiempos de enfriamiento y de congelación, lo que es benéfico ya que hay formación de cristales pequeños que no dañan ni rompen las fibras y por lo tanto la capacidad de retención del agua se mantiene porque el músculo tiende a reabsorber el agua perdida. (Genot, 2001). La carne que fue congelada bajo las condiciones de congelación rápida (-20° C con circulación forzada) presentó alta capacidad de inmovilizar agua, fue firme, con una estructura rígida, lo cual se pudo demostrar ya que el daño causado por la compresión y penetración fue menor en comparación con la carne que se congeló bajo las condiciones de congelación lenta (-13°C con circulación natural), lo que hace más recomendable la congelación rápida (Ramos, 2005).

## CONCLUSIONES

- En lo que respecta a la congelación de carne bajo distintas condiciones la variable que más influye sobre el periodo de congelación es la temperatura del medio ya que el tiempo que tardan las placas de carne en pasar de la temperatura inicial de  $5^{\circ}\text{C}$  a la temperatura final fue menor a  $-20^{\circ}\text{C}$  que a  $-13^{\circ}\text{C}$  debido a que al disminuir la temperatura del medio de congelación se provoca la formación de muchos cristales de menor tamaño y la congelación se logra en un periodo corto, esto contribuye a un aumento en las propiedades mecánicas de la carne.
- La velocidad del aire en conjunto con la temperatura del medio contribuyó a los cambios en el periodo de congelación de la carne ya que éste fue más prolongado al usar la velocidad de circulación de aire de  $2\text{ m/s}$  y los periodos de congelación cortos se obtuvieron con la velocidad del aire de  $5\text{m/s}$ , éste efecto es atribuible a que la convección forzada retira el calor de la superficie de la carne con mayor velocidad.
- Para el objetivo particular 2, se concluyó que la temperatura del medio de congelación fue la variable que más afectó en la tenacidad, el módulo de cizalla y la carga máxima en penetración, la congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  mostró los valores más altos en éstos parámetros, ya que a ésta temperatura la congelación fue rápida y el tamaño de cristal no dañó la estructura celular ni los tejidos de la carne.
- En el caso de la compresión tanto la temperatura de congelación como la velocidad del aire influyen en la tenacidad, el módulo de compresión y la

energía borde, ya que para  $-20^{\circ}\text{C}$  con velocidad del aire alta se requirió de mayor esfuerzo para deformarse en comparación con las muestras congeladas a  $-13^{\circ}\text{C}$  con circulación natural.

- Tanto para penetración como para compresión la deformación de las muestras fue muy pequeña debido a que las propiedades mecánicas que se evaluaron aumentaron su valor al disminuir la temperatura del medio de congelación, lo cual provocó que la textura de la carne cambiara y se tornara más rígida; el periodo de congelación no afectó significativamente dicha deformación.
- En cuanto al objetivo particular 3, existe un efecto del método de congelación, el periodo de congelación y la CRA, ya que las muestras congeladas en mayor tiempo y que sufrieron mayor daño mecánico fueron las que presentaron el porcentaje de CRA menor. Esto se debió a que al tener periodos de congelación prolongados los espacios fibrilares aumentaron por la formación de cristales de mayor tamaño, al comprimir éstas muestras las fibras de la carne ya no retienen el agua con la misma fuerza debido al daño mecánico sufrido y al descongelarlas el agua exuda con mayor facilidad.
- El porcentaje de agua congelada también influye ya que al tener temperaturas de congelación bajas ( $-20^{\circ}\text{C}$ ), éste es de 90% lo que hace que la carne oponga mayor resistencia al daño mecánico y por tanto el exudado sea menor, en cambio a temperaturas de congelación bajas ( $-13^{\circ}\text{C}$ ) se congela el 80% del agua lo que hace que la resistencia al daño mecánico sea menor causando que la carne disminuya su CRA.

- Los cambios que se evaluaron en cuanto al periodo de congelación, compresión, penetración y capacidad de retención de agua, por efecto de las condiciones de congelación son de suma importancia para determinar la calidad de la carne.
- La temperatura de la muestra al momento de realizar las pruebas mecánicas es muy importante, ya que de ello dependen los cambios en la textura de la carne.
- Este proyecto se enfocó al efecto de la congelación sobre la textura y capacidad de retención de agua de la carne y ya que el almacenamiento de ésta se hace a temperaturas por debajo de los  $-10^{\circ}\text{C}$  se puede relacionar con el daño sufrido por los estibamientos o las fluctuaciones de temperatura, que sin duda afectarán la calidad de la carne al ser esta descongelada para su consumo.
- Para posteriores estudios sería recomendable realizar este tipo de pruebas texturales aplicadas a carne descongelada con la finalidad de comparar la magnitud del daño antes y después del proceso de congelación y como este afecta su calidad.
- Actualmente no se reportan estudios sobre evaluación de propiedades mecánicas y textura en carne congelada por lo que en éste proyecto se resaltó la importancia de la congelación sobre el daño textural en la carne congelada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABERLE, E.D., (2001), *Principles of meat science*, Ed. Kendall Hunt Publishing CO., E.U.A.
2. ACEVEDO, S.M., (2004), *Tesis de ciencia y tecnología de los alimentos Evaluación de los atributos principales de calidad de la carne de res de origen local e importada, según se ofrece al consumidor*. Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.
3. AGUADO A., J. (2003), *Ingeniería de la industria alimentaria. Vol. III Operaciones de conservación de alimentos*. Ed. Ciencias Químicas, México.
4. AKYURT, M. et. al. (2001). *Freezing phenomena in ice-water systems*. Energy Conversion and Management vol. 43, Ed. Pergamon, págs. 1773-1789.
5. ALVARADO, J. D., (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industria de alimentos*. Ed. Acribia, España.
6. ANÓNIMO, (2006), *Tejidos animales*, Brasil.  
<http://curlygirl.naturlink.pt/miofilamentos.jpg>.
7. AÑÓN, M.C., et. al., (1980), *Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef*. Meat Science, vol 4.
8. BAHILLO, R., (2007), *Apuntes de tratamientos por calor*, Ed. UV, España.
9. BARREIRO, P., et. al., (1996), *Propiedades mecánicas y calidad de frutos*. Revista Fruticultura Profesional, no. 77, pág. 50.
10. BENDALL, J. R., (1961). *Post mortem changes in muscle: The Structure and Function of Muscle*. Ed. G.H. Bourne. Academic Pres, E.U.A.
11. BENDALL, J. R., (1973). *The biochemistry of rigor mortis and cold contracture*. vol. 19, Ed. G.H. Bourne. Academic Pres E.U.A.

12. CAMBERO, M. I., (1983), *Tecnología de los alimentos*, Vol. II, Alimentos de origen animal, Ed. Síntesis S. A. España.
13. CARRION, M. J. (1992), *Tecnología de la congelación del pescado*, España.
14. CASAS, N. B., (2001), *Apuntes de reología y textura de materiales biológicos*. UNAM, México.
15. CASTRO, M. J., et. al, (2007), *La capacidad de retención de agua de la carne de reses de Lidia*. Web del symposium del toro de Lidia.  
[www. Simposiotorozafra.org/simposio.html](http://www.Simposiotorozafra.org/simposio.html).
16. CHEFTEL, J. C., (1977), *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen II.*, Ed. Acribia, España.
17. CUADRADO, T. R., (2006), *Propiedades mecánicas de los biomateriales*, Argentina.  
<http://www3.fi.mdp.edu.ar/biomaat/prop%20mecanicas/20de%20Biomateriales.pdf>
18. DESROSIER, et. al., (1977). *Fundamentals of Food Freezing*, Ed. AVI PUBLISHING, E.U.A.
19. ECHEVERRIA, R., (2003), *Fractura de materiales*, Ed. UNCA, Universidad Nacional del Comahue, Argentina.
20. EL WAHABI, Mohamed, (2002), *Caracterización termomecánica de aceros inoxidable austeníticos AISI-304*, Ed. UC, España.
21. FELLOWS, M., (1994), *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas*, Ed. Acribia, España.
22. FENNEMA, D.R., (1996), *Química de alimentos*, 3ª. Edición, Ed. MDI, E.U.A.
23. FERNANDEZ, J. M., (2005), *Apuntes de ingeniería química. Congelación*, Dpto. Ingeniería, UNAM, México.
24. FORREST, J.C. (1975), *Fundamentos de la ciencia de la carne*. Ed. Acribia, España.



25. FRAZIER, W. C., (2001) *Microbiología de los alimentos*. 6ª edición Española, Ed. Acribia, [España](#).
26. FUENMAYOR, O. E., (2003), *Pérdida por goteo en diferentes carnes crudas*. Centro de Alimentación y Desarrollo, A.C., México.
27. GEANKOPLIS, C., (2002), *Proceso de transporte y operaciones unitarias*, Ed. CECSA, México.
28. GENOT, C., (2001), *Congelación y calidad de la carne*, Ed. Acribia, España.
29. GOUTENFOGEA, R., et. al. (1976). *Etude comparée de la saveur des viandes de vaches et de taurillons. Relation entre la composition du muscle et la saveur de la viande*. European Meet. of Meat Res. Workers, Malmö. Swedish Meat Research Centre, Vol I, págs. 1-12.
30. HAMM, R., (1981), *Post Mortem changes in muscle affecting the quality of comminuted meat products*. Developments in Meat Science, Ed. Elsevier, Inglaterra.
31. HELDMAN, D.R., (1994), *Handbook of food engineering*, Ed. MC, USA.
32. HONIKEL, K. O. (1990), *The meat aspects of water and food quality, Water and Food Quality*, Ed. T. M. Hardman, Elsevier, págs. 277-304, Inglaterra.
33. HUI, Y.H., (2006), *Ciencia y tecnología de carnes*, Ed. Limusa, México.
34. HURTADO, E., et. al., (2005), *El Ensayo de Punzonado en Caliente Aplicado a un Acero Microaleado con Niobio*. *Inf. tecnol.*, vol.16, no.4, págs. 39-44, Chile.
35. JAMES, S.J., (1996), *The cold Chain "from carcass to consumer"*, Ed. IFF, Inglaterra.
36. JASPEN, (1978), *Conservación de la carne por el frío*, Ed. Acribia, España.
37. JUL, M., (1984). *The quality of frozen foods*. Ed. Academic Press, Inglaterra.

38. KINSMAN, A. K., et. al, (1994) *Muscle Foods*, Ed. Chapman & Hall, Inglaterra.
39. LAWRIE, R. A. (1966) *The eating quality of meat*. Meat Science. Ed. Pergamon Press, Inglaterra.
40. LAWRIE, R. A. (1985) *Meat Science, 4<sup>th</sup> edition*, Ed. Pergamon Press, Oxford.
41. LAWRIE, R. A., (1998), *Ciencia de la carne*, Ed. Acribia, España.
42. LEWIS, M. J., (1993), *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*, Ed. Acribia, España.
43. MALLETT, C. P., (1994), *Frozen food technology*. Blackie Acad. & Prof., Inglaterra.
44. MARTENS, et. al., (1982). *Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins*. J. Text. Stud. 13., págs. 291-309.
45. MARTINO, M. N., (1998). *Size and Location of Ice Crystals in Pork Frozen by High-Pressure-Assisted Freezing as Compared to Classical Methods*. Meat Science, Vol. 50, No. 3, págs. 303-313.
46. Norma Oficial Mexicana de Emergencia 007, (2004), Secretaría de Salubridad y Asistencia.
47. OFFER, G., et. al. (1989). *The structural basis of the water holding, appearance and toughness of meat and meat products*. Food Microstructure vol. 8., págs. 151-160.
48. OLIVER, M.A., et. al. (1990). *Influencia de la composición del jamón en la calidad de la carne*. Cárnica 2000, vol. 78., págs. 118-123.
49. ONEGA, M. E., (2003), *Tesis doctoral, Evaluación de carnes frescas: Aplicación de Técnicas Analíticas, Instrumentales y Sensoriales*. Universidad Complutense de Madrid, España.

50. RAMOS, H. A., (2005), *Tesis de Efecto del método de congelamiento sobre las Características fisicoquímicas y organolépticas de la carne de pechuga de pollo*, Ed. UPR, Puerto Rico.
51. RANKEN, M.D., (2003), *Manual de industrias de la carne*, Ed. AMV, España.
52. ROSENTHAL, A. J., (2001), *Textura de los alimentos, Medida y percepción*, Ed. Acribia, España.
53. ROUDOT, A.C. (2004). *Reología y análisis de textura de los alimentos*. Ed. Acribia, España.
54. SANTRICH, V. D., (2006), *Evaluación de la calidad y composición química de la carne de res proveniente de animales de dos grupos de edad en Puerto Rico*, Universidad de Puerto Rico, Programa de ciencia y tecnología de alimentos, págs. 1-78, Puerto Rico.
55. SAÑUDO, E.S., et. al., (1998), *Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas*. Archivos de Zootecnia, vol. 48., págs., 397-402.
56. SAÑUDO, E.S., et. al., (2004), *The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meta quality using two different textura devices*. Meat Science, vol. 66, págs. 925-932.
57. SHARMA, Shri K. (2003). *Ingeniería de alimentos*. ed. Limusa Wiley, México.
58. SMITH, G.C., et. al., (1993). *Lamb carcass quality. III. Chemical, physical and histological measurements*. J. Anim. Sci. 31., págs. 697-706.
59. VALENCIA, M., (2006), *Ciencia de los materiales*, España.  
<http://materiales.eia.edu.co/index.htm>
60. VARNAM, A. H. et. al., (1995). *Carne y productos cárnicos*, Ed. Acribia, S. A., España.
61. VARONA, J., (2004), *El frío una garantía de calidad. Revista club pescanova consumidores*, no. 31, España.