

4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

EVALUACION DEL DAÑO ESTRUCTURAL EN TEJIDO  
MUSCULAR (CARNE DE CERDO) MEDIANTE EL USO DE  
PRUEBAS ENZIMATICAS Y SU CONTRASTACION CON  
PRUEBAS TEXTURALES EN CARNES CONGELADAS POR  
2 DIFERENTES METODOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A :  
ANA LUISA DEL CASTILLO SALCEDO

ASESORA: I A ROSALIA MELENDEZ PEREZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

AT'N: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Evaluación del daño estructural en tejido muscular (carne de cerdo)  
mediante el uso de pruebas enzimáticas y su contrastación con pruebas  
texturales en carnes congeladas por 2 diferentes métodos.

que presenta la pasante: Ana Lujisa del Castillo Salcedo  
 con número de cuenta: 9361468-9 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 04 de Diciembre de 2000

- RESIDENTE J. B. Q. L. Jaime Flores Minutti
- LOCAL C. F. R. Susana P. Miranda Castro
- SECRETARIO J. A. Rosalía Meléndez Pérez
- PRIMER SUPLENTE J. A. Alfredo Alvarez Cárdenas
- SEGUNDO SUPLENTE J. A. Laura M. Cortazar Figueroa

## DEDICATORIAS

### A MIS PADRES

SERGIO Y JUANA MARIA: POR SU AMOR, APOYO Y EJEMPLO, QUE  
ME LLEVARON A CUMPLIR CON ESTA META

### A MIS HERMANOS

SERGIO, JOSÉ LUIS, JUAN CARLOS† Y FERNANDO, ASI COMO A  
MIS SOBRINOS POR SU APOYO Y CARIÑO

### A ITALO

GRACIAS POR IMPULSARME Y AYUDARME A LLEGAR A ESTA META

.....LOS AMO.

## AGRADECIMIENTOS

- A los miembros del jurado: I.B.Q. J. Jaime Flores Minutti, M. en C. Patricia Miranda Castro, I.A. Rosalía Meléndez Pérez, I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas, I.A. Laura Cortazar Figueroa; por enriquecer con sus comentarios y observaciones este trabajo.
- A la I.A. Rosalía Meléndez Pérez, por su dirección, apoyo, confianza y amistad..... Gracias!!
- A el M. en C. Edgar Aguilera Cerón, por su apoyo para la realización de este trabajo, así como por su amistad.
- A la I.B.Q. Norma Casas Alencaster, por su ayuda durante la parte experimental relacionada a los parámetros texturales.
- Al I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas, por su apoyo, ayuda y confianza, pero sobre todo gracias por tu amistad y por todo lo que he aprendido a tu lado.
- Al Dr. José Luis Arjona Román, por todo lo que me ha dejado como maestro, persona y amigo; GRACIAS.
- Al c. M. en F.Q. Italo Menconi Cardín, por su invaluable ayuda, apoyo y comprensión durante la elaboración de este trabajo; gracias por estar a mi lado. Te Amo.
- A mis amigas: Deni, Ana Jasso, Carolina Moreno, Selene Corona, Marta Rosas y Luz Zambrano, gracias por su amistad.
- A Christian González Cañas, por su amistad y ese buen humor que le caracteriza.

# ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| • <b>Introducción</b>  | 1  |
| • <b>Justificación</b>   | 5  |
| <b>1. Antecedentes</b>   | 7  |
| 1.1 <b>Carne</b>   | 8  |
| 1.1.1 <b>Definición</b>  | 8  |
| 1.1.2 <b>Composición química</b>   | 8  |
| 1.1.3 <b>Composición estructural</b>   | 16 |
| 1.1.3.1 <b>Tejido conjuntivo</b>   | 17 |
| 1.1.3.2 <b>Fibra muscular</b>  | 21 |
| 1.1.4 <b>Proteínas miofibrilares</b>   | 23 |
| 1.1.5 <b>Propiedades funcionales de las proteínas de la carne</b>                      | 26 |
| 1.1.6 <b>Bioquímica de la contracción muscular</b>                                     | 32 |
| 1.1.7 <b>Sistema proteico muscular después de la muerte</b>                            | 36 |
| 1.2 <b>Efecto de los diferentes tratamientos térmicos de conservación de la carne.</b> | 43 |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 1.2.1     | Tratamientos térmicos a altas temperaturas                               | 44        |
| •         | Tratamientos térmicos sin cambio de fase (esterilización)                | 45        |
| •         | Tratamientos térmicos con cambio de fase (deshidratación, liofilización) | 46        |
| 1.2.2     | Tratamientos térmicos a bajas temperaturas                               | 49        |
| •         | Tratamientos térmicos sin cambio de fase (Refrigeración)                 | 50        |
| •         | Tratamientos térmicos con cambio de fase (Congelación)                   | 53        |
| •         | Fundamentos tecnológicos del proceso de congelación                      | 57        |
| 1.2.3     | Efectos de la congelación y descongelación en la calidad de la carne     | 64        |
| <b>2.</b> | <b>Metodología experimental</b>  | <b>68</b> |
| •         | Objetivos  | 68        |
| 2.1       | Cuadro metodológico  | 69        |
| 2.2       | Descripción experimental   | 70        |
| <b>3.</b> | <b>Análisis de Resultados</b>  | <b>75</b> |
| •         | Conclusiones   | 84        |
| •         | Bibliografía   | 87        |
| •         | Anexos   | 92        |

## INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1   | Moléculas de colágeno y tropocolágeno  | 17 |
| Figura 2   | Representación esquemática de la molécula de tropocolágeno                                   | 18 |
| Figura 3   | Sección transversal y estructura de la fibra muscular  | 22 |
| Figura 4   | Sección longitudinal de un sarcómero   | 22 |
| Figura 5   | Miosina: sección transversal y longitudinal  | 24 |
| Figura 6   | Representación de la molécula de actina  | 26 |
| Figura 7   | Formación y envejecimiento de la carne en valores de pH y tiempo                             | 38 |
| Figura 8   | Curvas típicas de enfriamiento   | 51 |
| Figura 9   | Curva típica de congelación de la carne  | 60 |
| Figura 10  | Representación diagramática de la formación de cristales en alimentos con estructura celular | 61 |
| Figura 11  | Planeación experimental  | 69 |
| Figura 12  | Representación del análisis del perfil de textura  | 73 |
| Figura 13  | Comparativo de resultados obtenidos para proteína y iones calcio                             | 79 |
| Figura 14  | Comparativo de resultados obtenidos para AST y ALT   | 79 |
| Figura 15a | Gráfico del perfil de textura  | 81 |
| Figura 15b | Gráficos del perfil de textura   | 82 |
| Cuadro 1   | Composición general de la estructura muscular  | 9  |
| Cuadro 2   | Composición de la carne de cerdo cruda   | 10 |
| Cuadro 3   | Resultados de cuantificación de proteínas, enzimas y iones calcio                            | 77 |
| Cuadro 4   | Resultados comparativos del perfil de textura  | 77 |

## INTRODUCCIÓN

Para la conservación de los alimentos, la aplicación de bajas temperaturas, específicamente la congelación, permite suspender la actividad de microorganismos, disminuir procesos bioquímicos, químicos y físicos que provocan una reducción gradual en la calidad del alimento; sin embargo, debido a la naturaleza del cambio de fase del agua presente en los mismos al estado sólido, se originan cambios indeseables en el producto, como son los cambios irreversibles en propiedades texturales, en sabor y olor, que se pueden atribuir a daños estructurales sufridos durante el proceso y que dependen del método empleado para provocar el cambio de fase, y de otros factores que están relacionados con la congelación, así como del almacenamiento y manejo al cual será sometido el producto congelado.

Por otro lado, en relación con los atributos de calidad, cabe mencionar la importancia que tiene la funcionalidad de los ingredientes dentro de los alimentos y la relación existente entre la medición en forma química, física o sensorial de los mismos con los requerimientos del consumidor. En este sentido, las características de un alimento deben ser analizadas como un conjunto de atributos y no de forma aislada, ya que existen interacciones entre los mismos componentes, los cuales repercutirán sobre cambios cualitativos que el consumidor percibe. Sin embargo hay que seleccionar e

identificar los atributos críticos, los cuales deben ser medidos en forma apropiada, donde se incluyan todos los parámetros de influencia, y de la misma forma considerar las condiciones a las cuales se realiza el proceso, las concentraciones de los ingredientes y las condiciones de almacenamiento para maximizar la aceptabilidad del producto. (37)

Diversos autores han estudiado algunos parámetros de calidad, dentro de ellos se ha visto que tanto la suavidad como la jugosidad son afectados por la edad del animal, la crianza, el acondicionamiento y el método de enfriamiento, entre otros (16,34). Así mismo se ha estudiado el efecto del tipo de empaque y se ha determinado su vida de anaquel. (25)

Desde el punto de vista térmico, la carne también ha sido estudiada con modelos, un ejemplo de esto es el trabajo realizado por Scott, en el cual establece que las propiedades térmicas varían con la temperatura, pero que en este caso el material no es estudiado cerca del punto inicial de congelación donde los cambios en las propiedades son más evidentes, asumiéndose que estas propiedades térmicas disminuyen conforme disminuye la temperatura, debido al incremento en la concentración de sólidos, recordando que la fracción de sólidos puede ser determinada en función a la depresión del punto inicial de congelación. (35)

Se han analizado soluciones de fructosa acuosa al 30% con y sin Carboximetilcelulosa (modelos de carne) congeladas rápidamente por

criogenia o lentamente por aire y se examinaron en un microscopio electrónico el crecimiento de cristales y mediante calorimetría diferencial de barrido los cambios en las temperaturas de transición vítrea. Las muestras congeladas rápidamente se almacenaron a  $-75$  y  $-25^{\circ}\text{C}$  mostrándose recristalización con un aumento de 20 veces mayor del tamaño el cristal original, a diferencia de las muestras que se congelaron lentamente que produjeron cristales más grandes pero con un porcentaje menor de recristalización durante el almacenamiento.<sup>(3)</sup>

Cabe citar que se han estudiado productos cárnicos en función a la aplicación de la calorimetría diferencial de barrido <sup>(23, 3, 6, 7)</sup> y también el estudio de los cambios microestructurales de la carne por microscopía electrónica y por microfotografía <sup>(19, 30)</sup>, pero hasta ahora, no se han utilizado técnicas más específicas para determinar el nivel a donde ha llegado el daño estructural y su correlación con los cambios en los parámetros texturales.

En el presente trabajo se pretende evaluar el nivel de daño estructural en carne de cerdo sometida a congelación, empleando diferentes velocidades de congelación y recongelación, infiriendo así el deterioro en la calidad en cuanto a pérdida de las características texturales de la carne fresca.

Por otro lado, aunque existen estudios similares reportados por diversos autores, la mayoría de estos se basan en modelos de carne (taylosa,

metilcelulosa, etc.) o en carne de res, los cuales aunque sirven como parámetros de referencia, difieren con el comportamiento de la carne de cerdo sometida a tratamiento térmico debido a las diferencias en cuanto a composición química y contenido en proteínas estructurales, así como diferencias debidas a cambios bioquímicos ocurridos durante el rigor mortis. (9)

## JUSTIFICACIÓN

Como es sabido, la vida útil del producto congelado es mucho mayor que la del producto fresco. En las empresas pequeñas, el abasto puede ser diario o de pocos días, por lo que se debe utilizar sólo materia cárnica fresca; sin embargo, en las empresas medianas y grandes el abasto no puede depender de la llegada diaria y se deben garantizar vidas útiles mayores, por lo que el producto congelado es el ideal.

Se ha seleccionado la carne de cerdo como materia de estudio, debido a que es un producto de alta producción y consumo dentro y fuera del territorio nacional; durante el periodo comprendido de 1994 a 1997, la producción en el ámbito nacional de carne de porcino en canal presentó una variación que tiende a la disminución de producción en cuanto a volumen, contrario a esto los precios de producción por tonelada se elevan año tras año, lo cual se atribuye a los bajos niveles de preferencia de este tipo de carne.

En cuanto a la carne de puerco congelada y empacada, el aumento en la producción de 1995 fue de tres veces con respecto a la de 1994. En comparación, la carne fresca que en ese mismo periodo se produjo, disminuyó debido tal vez al mayor consumo de carne congelada. Por otro lado en la elaboración de embutidos se utilizan materias primas cárnicas como es la de cerdo, ave y res, tanto de origen nacional como importadas; del total

## 1.1 CARNE

### 1.1.1 DEFINICIÓN

Desde una perspectiva práctica se entiende por carne todas las partes de los animales de sangre caliente, propias para consumo humano. La masa muscular de los animales de sangre caliente, es la fibra muscular todo músculo o parte comestible del animal que se encuentre en condiciones sanitarias aptas para el consumo humano. Desde el aspecto bioquímico se le define como la fibra muscular estriada de los animales de abasto, caza, pesca y, desde un enfoque legal, la Secretaría de Salud la define como la estructura compuesta por fibra muscular estriada, acompañada o no de tejido conjuntivo elástico, grasa, fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos de las especies animales autorizadas para consumo humano. (32)

La carne de cerdo proviene del animal de la familia *Suidae*. Los cerdos se han domesticado para obtener alimento de ellos desde los tiempos prehistóricos. Se registra su uso como alimento ya en el año 3400 a.C., en Egipto y en 2900 a.C., en China. (11)

### 1.1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE

La composición básica de la carne varía entre los diferentes tipos y cortes existentes. Las tablas 1 y 2, muestran la composición química, de carne de cerdo, y como se observa, el mayor % en constitución es agua; sin embargo

las proteínas son los constituyentes más importantes de las partes comestibles de la carne de los animales; aproximadamente de un 19% en músculo, y de un 20.7% en carne de cerdo magra, que es a la que normalmente se hace referencia, pero se puede observar que el lomo, a pesar de tener un 22% más de grasa que la carne magra, contiene también un alto porcentaje proteico, sin que haya una gran diferencia en la relación agua y proteína; y cuando se considera la proteína en base libre de grasa la diferencia resulta aun menor. Las principales cifras de interés para el control analítico son el contenido de carne magra y el equivalente cárnico del producto.

Cuadro No. 1 Composición general de la estructura muscular

| Constituyente        | %       |
|----------------------|---------|
| Agua                 | 75      |
| Proteínas            | 19      |
| lípidos              | 2.5     |
| Carbohidratos        | 1.2     |
| solutos no proteicos | 2.3     |
| Vitaminas            | rastros |

(31)

Cuadro No. 2 Composición de la carne de cerdo cruda

|         | Agua (%) | Nitrógeno (%) | Proteínas (N x 6.25) (%) | Grasa (%) | Relación de agua y proteínas | Proteína en base libre de grasa (%) | Nitrógeno en base libre de grasa (%) |
|---------|----------|---------------|--------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Magra   | 71.5     | 3.29          | 20.7                     | 7.1       | 3.45                         | 22.3                                | 3.54                                 |
| Grasa   | 21.1     | 1.08          | 6.8                      | 71.4      | 3.10                         | 23.8                                | 3.78                                 |
| Vientre | 48.7     | 2.44          | 15.3                     | 35.5      | 3.18                         | 23.7                                | 3.78                                 |
| Lomo    | 54.3     | 2.55          | 15.9                     | 29.5      | 3.42                         | 22.6                                | 3.62                                 |
| Pierna  | 59.5     | 2.66          | 16.6                     | 22.5      | 3.58                         | 21.4                                | 3.43                                 |

(24)

Como se mencionó anteriormente, el valor nutritivo de la carne se basa en el contenido de proteínas digeribles y de la cantidad de proteínas completas que pueda tener en su composición. A continuación se describe las características de cada uno de los constituyentes químicos más importantes.

- **AGUA**

Como se observó en los cuadros 1 y 2, el agua es el mayor constituyente de la carne, aproximadamente de 70 a 75% del tejido muscular. La mayor parte del agua de composición se encuentra en el interior de las células, separadas por la membrana celular y sometidas a cambios iónicos por proceso de ósmosis. Una fracción de ella acompaña a las sales minerales, ocupa los espacios extracelulares, en forma similar a la del suero sanguíneo. El picado y macerado de la carne presupone que el agua, sola y asociada a otros elementos, fluye de la pasta. De esta propiedad así como de la viscosidad,

concentración de agua, etc., se ha aprovechado la industria para trasladar y embutir los productos cárnicos.

El agua es el componente principal de los líquidos extracelulares y en ella se encuentran disueltos o suspendidos numerosos componentes químicos; por ello sirve de transporte de materiales entre el lecho vascular y las fibras nerviosas. (16)

Un 40% aproximadamente del agua contenida en la carne está unida a los grupos proteicos y está condicionada al valor de pH; la variación del pH en el sentido de acidificar el medio aumenta la capacidad de retención de agua CRA, pero si la variación es hacia la alcalinidad la carne pierde esta capacidad.

Existe una cantidad de agua que actúa como agua de reacción en ciertos procesos bioenzimáticos; estableciéndose una relación constante entre agua y proteína, que sirve de base analítica para determinar la cantidad de agua agregada a la carne picada o a un embutido. (24)

## • LÍPIDOS

Los lípidos son después de las proteínas los componentes mayoritarios presentes en la carne. Tienen gran importancia por las transformaciones bioquímicas que sufren durante la elaboración de los productos cárnicos. La composición química de las grasas depende en primer lugar de la especie

animal y del tejido del que procede, por ejemplo, entre las grasas de depósito y la intersticial existe diferencia en su composición en ácidos grasos, que las condiciona para su empleo en la industria. De acuerdo con su localización cabe mencionar dos tipos de grasa animales: grasas de depósito y grasas intercaladas entre las fibras musculares.

El contenido lipídico de los músculos es muy variable, aproximadamente del 1.5 al 13% se compone fundamentalmente de lípidos neutros (triglicéridos) y fosfolípidos. Aun que en las fibras musculares se encuentran algunos lípidos intracelulares, la mayoría se localizan en los depósitos de tejido adiposo asociado al tejido conectivo laxo que se encuentran entre los haces musculares. A este último tipo de depósito graso se le conoce como veteado, marmorización o grasa intramuscular.

#### • CARBOHIDRATOS

El contenido en carbohidratos del tejido muscular es muy pequeño; el glucógeno, que es el carbohidrato del músculo más importante, supone aproximadamente de 0.5 al 1.3% del peso del músculo. Los restantes carbohidratos constituyen los mucopolisacáridos asociados a los tejidos conectivos, la glucosa, otros mono o disacáridos y los intermediarios del metabolismo glucolítico.

Dado que el hígado constituye el lugar principal de almacenamiento del

glucógeno, la mayoría de los carbohidratos del organismo animal se presentan en dicho órgano, por lo que la mayor parte de los cortes de carne constituyen fuentes pobres de carbohidratos. El glucógeno juega un papel importantísimo en el proceso de maduración de la carne, colaborando con la caída del pH, conjuntamente con ciertos compuestos procedentes de la transformación del ATP.

Los músculos en movimiento son los de mayor contenido de glucógeno, mientras que en los músculos menos móviles solamente se encuentra un 2.5% del contenido total de azúcares. (21, 16)

## • PROTEÍNAS

Desde el punto de vista de la nutrición, los compuestos nitrogenados de la carne son probablemente los más importantes. Estos compuestos pueden dividirse en nitrógeno proteico y no proteico. Entre las materias nitrogenadas no proteicas se encuentran la creatina y la creatinina, cuya proporción en la carne es constante, por lo que ambas constituyen parámetros de calidad que permiten conocer el contenido de carne en embutidos. Las proteínas son polipéptidos o combinaciones de aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos. Al igual que las grasas y los carbohidratos, las proteínas contienen carbono, oxígeno e hidrógeno; además de contener nitrógeno en un intervalo de 15.5 - 18%. Las proteínas

de la carne pueden contener también fósforo y hierro. (21)

Las proteínas constituyen el 16.22% de la masa muscular y son el componente principal de la materia sólida. Sin duda las proteínas son los constituyentes más importantes de las partes comestibles de la carne de los animales; de estas, las proteínas contráctiles o miofibrilares son las que conforman estructuralmente el tejido muscular y, además, las que transforman la energía química en mecánica durante la contracción y relajación de los distintos músculos. (24)

Generalmente se clasifican atendiendo fundamentalmente a su solubilidad en sarcoplásmicas, miofibrilares y del estroma. Las proteínas sarcoplásmicas se extraen fácilmente con agua o con tampones de poca fuerza iónica (0.15 o menos). Sin embargo las proteínas más fibrosas de las miofibrilares necesitan para su extracción tampones de fuerza iónica media o alta. Las proteínas del estroma, que constituyen el tejido conectivo y las proteínas fibrilares a él asociadas, son comparativamente insolubles. Entre las proteínas sarcoplásmicas se incluyen la mioglobina, la hemoglobina y las enzimas asociadas a la glucólisis, al ciclo del ácido cítrico y a la cadena transportadora de electrones. Aunque las enzimas del ciclo del ácido cítrico de la cadena transportadora de electrones forman parte de las mitocondrias se extraen fácilmente junto con las que se encuentran directamente en el sarcoplasma.

Las proteínas miofibrilares antes mencionadas son las asociadas con los filamentos gruesos y delgados; comprenden la actina, miosina, tropomiosina troponina, actinina  $\alpha$  y  $\beta$ , proteína C y proteínas M. Estas proteínas solubles en sal, son necesarias para estabilizar las emulsiones en la elaboración de embutidos, cuya fabricación exige la emulsión de la carne. En el músculo se encuentran además de proteínas otros compuestos nitrogenados no proteicos (NPN) y comprenden una gran variedad de componentes químicos. Entre ellos destacan aminoácidos, péptidos sencillos, creatina, fosfato de creatina, creatinina, algunas vitaminas, nucleósidos y nucleótidos, incluido el adenosintrifosfato (ATP). (16)

### 1.1.3 COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARNE

El músculo estriado se compone de fibras microscópicas largas y tubulares cuyas membranas están formadas de albúmina. Estas fibras engloban el jugo muscular en el que se halla a su vez una disolución de albúmina y materia extractiva (sarcoplasma) formando el haz muscular o fascículo en cuya intersección se alojan tejidos grasos, nervios, tendones y vasos sanguíneos. Las fibras pueden ser rojas y blancas. El color rojo de las fibras se debe principalmente a una proteína conjugada llamada mioglobina.

La cantidad y constitución de las fibras musculares determinan la buena calidad de la carne; estas deben sobrepasar cuantitativamente al tejido conectivo.

Según su origen, las proteínas del músculo se clasifican en sarcoplásmicas, miofibrilares y del tejido conectivo, de las cuales la mioglobina, la actina-miosina y el colágeno, entre otras, son las más importantes en relación a la estructura y calidad de la carne, así como para su transformación industrial.

(32)

La distribución de los principales constituyentes proteicos del músculo es la siguiente (5)

- Proteínas sarcoplasmáticas (Enzimas glicolíticas, mioglobulina, etc.): del 25 al 30%

- Proteínas miofibrilares (de las cuales, 54% miosina y 27% actina): un 50%
- Proteínas del tejido conjuntivo (Colágeno, elastina, etc.): 10 a 15%

### 1.1.3.1 TEJIDO CONJUNTIVO

- COLAGENO

El colágeno es el constituyente principal del tejido conjuntivo del músculo y sin duda representa la proteína animal más abundante; también se encuentra en la piel y huesos. (figura 1) El colágeno mantiene unidas las fibras musculares.

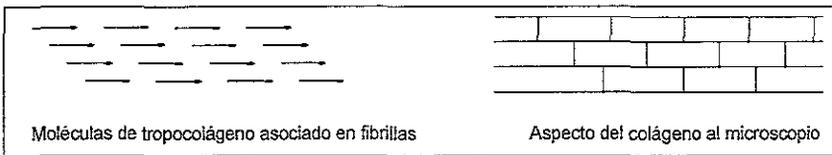


Figura 1 Moléculas de colágeno y Tropocolágeno (5)

El colágeno contiene un 33% de glicina, 12% de prolina, 11% de alanina y 10% de hidroxiprolina; cuanto más abunden estos aminoácidos, más rígido y resistente es el colágeno. Es deficiente en aminoácidos indispensables, principalmente lisina y triptofano. (1)

Mediante la utilización de microscopía electrónica y rayos X, se ha puesto de manifiesto, que la unidad estructural básica de la fibra de colágeno es una molécula de forma cilíndrica, que recibe el nombre de tropocolágeno (Figura 2) (15). Es una hélice triple y compacta de unos 280nm de longitud y de 1.5nm de diámetro; (5) con un peso molecular de 285 000, formado por tres

cadena polipeptídicas, con más de 1000 aminoácidos cada una. (15)

La molécula de tropocolágeno posee en uno de sus extremos grupos ionizados; varias moléculas, todas orientadas en el mismo sentido y dislocadas 64nm la una con relación a la otra; estas características de estructura cristalina explican el aspecto del colágeno natural al microscopio, así como la rigidez y resistencia que ofrece a la masticación. (6)

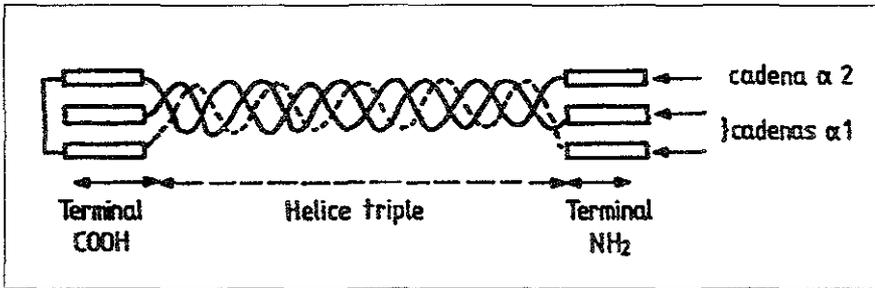


Figura 2 Representación esquemática de la molécula de tropocolágeno. (15)

Las moléculas de colágeno se agrupan de manera específica y ordenada para formar fibra, que son los componentes de la membrana protectora del músculo esquelético, la cual recibe el nombre de epimisio. Esta membrana se prolonga en el interior del músculo, en forma más delgada (perimisio) dividiéndolo en haces o fascículos. Estos haces engloban a numerosas células musculares que están separadas, una de otras, por finas láminas de tejido conjuntivo (endomisio) que se considera como prolongación del perimisio.

El colágeno del músculo esquelético presenta variaciones en su composición, estructura y contenido, en función de varios factores (especie, raza, sexo,

edad, deficiencia de vitaminas, etc.). El estudio de cortes transversales de músculos de diferentes especies indica que los bovinos y porcinos presentan unidades más grandes que los ovinos y caprinos; en cuanto a la raza, se ha demostrado que ejerce una influencia notable sobre el porcentaje de colágeno; El sexo también influye sobre el contenido en colágeno; los animales machos presentan mayor cantidad de tejido conectivo intramuscular, que las hembras. La castración, además de evitar la aparición de olores y sabores sexuales, reduce el contenido en colágeno con lo que se mejora la calidad de la carne.

El colágeno es una proteína muy termolábil por la acción de calor experimenta cambios que afectan la calidad de los productos cárnicos. Numerosos trabajos indican que las fibras de colágeno se contraen, de un tercio a un cuarto de su longitud cuando se someten a una temperatura de 60°C, y que con tratamientos térmicos prolongados, a temperaturas superiores, se transforma en gelatina soluble en agua. El calentamiento en agua origina la disociación de las fibrillas y la dislocación de la triple hélice; la temperatura crítica varía con la especie: es de 64°C para el músculo vacuno y entre 30 a 45°C en pescados: La resistencia a la masticación disminuye y solo la acción prolongada de temperaturas más altas llega a solubilizar el colágeno en forma cristalina. En la práctica industrial se justifica el calentamiento escalonado de los productos por que en un primer

tratamiento, a unos 55°C, se consigue la coagulación de las proteínas miofibrilares antes de que se produzca la contracción de las fibras de colágeno, lo cual disminuye sensiblemente la salida de líquido o jugos en el producto cárnico. Posteriormente, el tratamiento prolongado del colágeno origina la formación de gelatina que favorece la retención de agua y la cohesión en productos como el jamón cocido. (15, 5)

- ELASTINA

Es el segundo componente del tejido conjuntivo; abunda especialmente en las paredes de las arterias y en los ligamentos de las vértebras; a causa de su color también se le llama tejido conjuntivo amarillo. La estructura de la elastina aún no es bien conocida; es una molécula tipo ovillo, que posee entre las cadenas proteicas numerosos enlaces, que son especialmente grupos lisina de cadenas laterales; cuatro restos lisilo forman los compuestos cíclicos, demosina e iso-demosina, en torno a las que se sitúan las cadenas proteicas. Las fibras de elastina son filamentosas y su espesor y distribución varían según el tejido. Durante su cocción en agua, la elastina hincha y se estira, pero no se disuelve. Es muy resistente a los agentes capaces de romper los enlaces hidrógeno: insensible a la acción de la tripsina, quimotripsina y pepsina, pero hidrolizable por la acción de enzimas del tipo de la papaína y la elastasa pancreática. (5)

### 1.1.3.2 FIBRA MUSCULAR (MÚSCULOS VOLUNTARIOS)

Una fibra muscular está constituida por muchísimas miofibrillas paralelas, de aproximadamente  $1\mu\text{m}$  de diámetro, englobadas en un citoplasma, llamado sarcoplasma que contiene núcleos y mitocondria; así como varios compuestos solubles, especialmente ATP, creatina, mioglobina, enzimas glucolíticas, glucógeno, etc.

La fibra (diámetro de 10 a  $100\mu\text{m}$ ; longitud hasta de 35cm) está rodeada de una membrana, el sarcolema, que recibe los estímulos nerviosos y cuya despolarización origina la contracción. A su vez cada miofibrilla está rodeada por un entorno rico en iones  $\text{Ca}^{++}$ , el retículo sarcoplasmático y por conductos que comunican con el sarcolema. Estos tejidos participan en la transmisión de los impulsos nerviosos e intercambios iónicos. (Figura 3) (5)

Por su parte la miofibrilla se compone de filamentos paralelos, alternativamente espesos y delgados, de miosina y actina, respectivamente; es la disposición de estos filamentos la que confiere a la miofibrilla su aspecto estriado; en el microscopio se delimitan de forma visible las zonas oscuras (banda A) y claras (banda I) (Figura 4)

En la figura 3 y 4 se esquematiza la sección longitudinal y transversal de un elemento de miofibrilla o sarcómero, tal como se pudo deducir de los espectros de difracción de rayos X, de las imágenes logradas con

microscopio electrónico, gracias a la solubilización de algunos de sus componentes proteicos. (5)

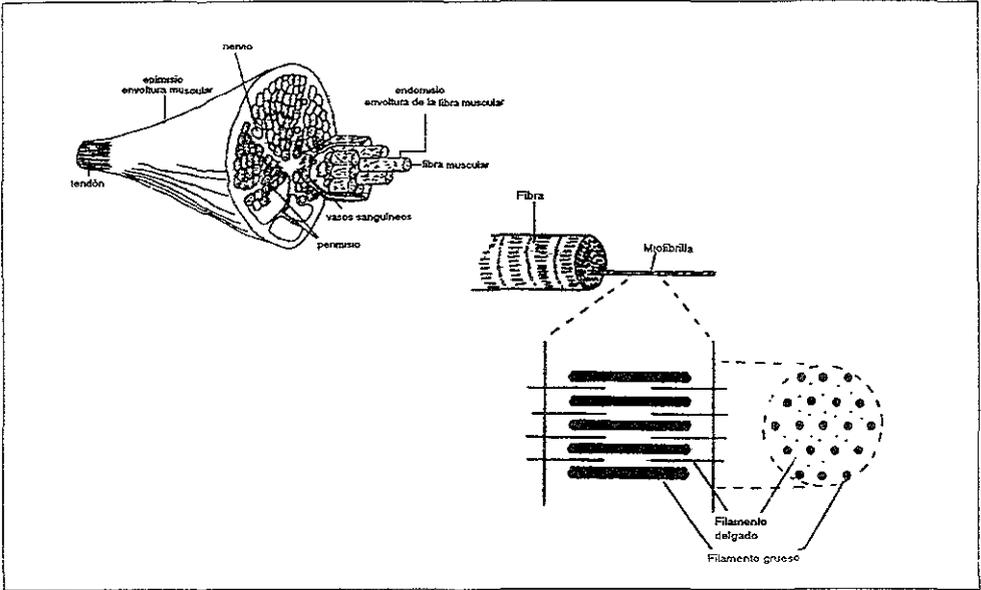


Figura 3. Sección transversal y estructura de la fibra muscular. (29)

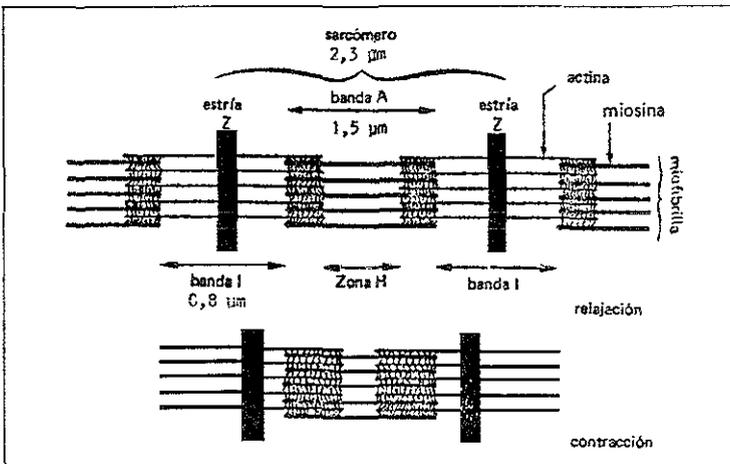


Figura 4. Sección longitudinal de un sarcómero. (5)

#### 1.1.4 PROTEÍNAS MIOFIBRILARES

- MIOSINA

La miosina es la más abundante de las proteínas miofibrilares, su identidad fue un tanto confusa durante casi 100 años hasta que se le dio el nombre en 1859 a una sustancia obtenida del jugo del prensado del músculo, la cual forma geles (Bailey, 1954).

Es una molécula altamente asimétrica, el radio de longitud al diámetro es aproximadamente 100:1. Debido a su alto contenido de ácido glutámico y aspártico y a los aminoácidos dibásicos, es una molécula altamente cargada y tiene una fuerte afinidad por los iones de calcio y magnesio. (26)

La molécula de miosina, de un peso molecular de unos 500,000 está constituida por dos cadenas proteicas, enrolladas entre sí, que presentan sobre todo hacia una de sus extremidades, varias zonas en  $\alpha$  hélice y en la otra extremidad varios grupos -SH; esta parte, la más voluminosa de la molécula de miosina, es la que actúa en relación con la actina y posee la muy importante característica de una actividad ATPásica.

Un filamento de miosina mide alrededor de 10nm de diámetro y unos 1.5 $\mu$ m de longitud (Figura 5); está constituido por un fascículo, de una veintena de moléculas, desplazadas la una con relación a la otra unos 6nm, de tal forma que sus extremidades voluminosas forman proyecciones o "dedos" todos dispuestos en espiral; en torno del haz, estos "dedos" oscilantes son los que

realizan la contracción del músculo se "enganchan en los puntos activos de los filamentos de actina, tiran de ellos una cierta distancia (unos 10nm), los sueltan, vuelven a su posición original, se enganchan en otro punto de filamento de actina, les tiran de nuevo de una "muesca" y así sucesivamente. La velocidad de contracción muscular implica que un "dedo" realiza de 50 a 100 tracciones por segundo, lo que es compatible con la velocidad de acción ATPásica de la miosina; es la hidrólisis de ATP la que suministra la energía necesaria para realizar la contracción muscular. (5)

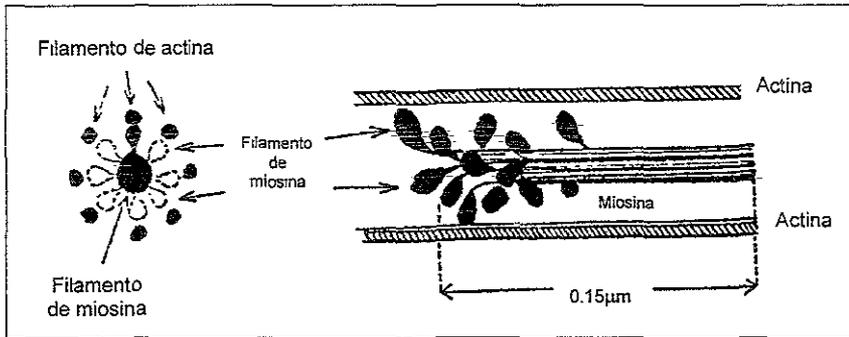


Figura 5 Miosina: Sección transversal y longitudinal. (5)

- **ACTINA**

La actina se encuentra bajo dos formas: una globular, *G*-actina, de peso molecular de 50 a 60 000; contiene un mol de ATP y  $\text{Ca}^{2+}$  (o  $\text{Mg}^{2+}$ ) por mol de *G*-actina. La separación del ATP y  $\text{Ca}^{2+}$  (con agentes quelantes como el ácido etilendiaminotetraacético) conduce a la inactivación y dimerización pero no

tiene lugar para una posterior agregación. Si la *G*-actina "activa" se expone a un medio salino de concentración 0.1 M en  $Mg^{2+}$  polimeriza muy rápidamente a *F*-actina; durante el proceso, el ATP es hidrolizado a ADP +  $P_i$ . Como el ADP en la *F*-actina no se intercambia fácilmente con ATP, no cabe considerar a la *F*-actina como una ATPasa. (Figura 6)

Por sonicación u otros medios de ruptura mecánica en presencia de ATP la reacción puede revertirse para dar *G*-actina-ATP + ADP a partir de *F*-actina-ADP + ATP y, bajo estas condiciones artificiales, la *F*-actina puede considerarse como una ATPasa.

No está claro que sea necesaria la hidrólisis del ATP para la polimerización de la *G*-actina a *F*-actina; con *G*-actina-ADP producida artificialmente aún tiene lugar la polimerización. Por otro lado la estructura de la *F*-actina parece estar mejor descrita por una disposición doble helicoidal de moléculas de *G*-actina con 13 a 15 subunidades por paso de hélice. (31)

La *F*-actina que resulta de la polimerización de la primera en filamentos constituidos en dos cadenas enrolladas, en doble hélice y que comprenden cada una de 300 a 400 monómeros, todos orientados en el mismo sentido. Estos filamentos cuyo diámetro es de unos 5nm y la longitud 2 $\mu$ m, también incluyen otras proteínas, dispuestas a lo largo de la hélice de *F*-actina, especialmente la tropomiosina, la troponina y la  $\alpha$ -actina; las dos primeras son sensibles a los iones  $Ca^{++}$  y por esto participan en el inicio de la

contracción; la última interviene en la unión entre el filamento de actina y la línea Z. (5, 31)

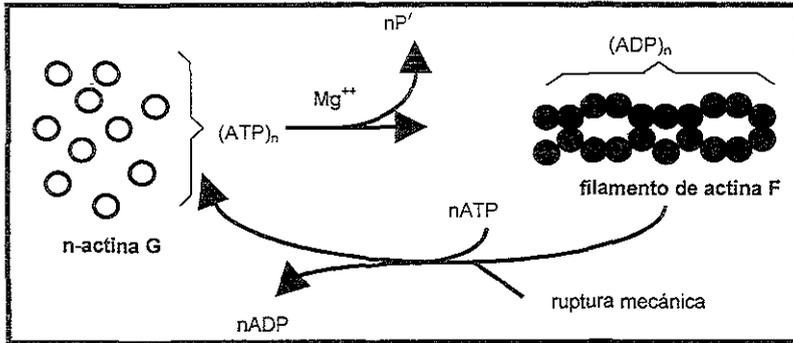


Figura 6. Representación de la molécula de Actina (31)

### 1.1.5. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS PROTEÍNAS DE LA CARNE.

Estas desempeñan un papel importante en cuanto a la tecnología de alimentos, tanto en lo referente a los procesos de fabricación como por su incidencia en los atributos de calidad del producto final. Entre ellas merecen citarse las capacidades de hidratación y ligazón de agua, de emulsión de grasa, de gelificación, de formación de espuma, de cohesión, de viscosidad, etc. Las propiedades funcionales difieren según el origen de la proteína y, hasta ahora, no se dispone de una proteína que reúna todas las características de funcionalidad. (12)

El conocimiento de las propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares (capacidad de retención de agua CRA, de emulsión de grasa y

de gelificación) ha sido la base del desarrollo de la industria cárnica moderna.

La capacidad de retención de agua se define como la capacidad de la carne de retener "su" agua durante la aplicación de fuerzas externas, tales como corte, calentamiento, trituración y prensado. (16) La CRA es una propiedad de importancia decisiva en la calidad de la carne, tanto para la destinada al consumo directo como para la destinada a la industrialización. La terneza, jugosidad y color están íntimamente relacionados con esta propiedad.

Las proteínas miofibrilares son las principales responsables de la retención del agua por la carne, del orden del 75%, y de que no se separe durante las operaciones de corte o picado. Se considera que el 70% del contenido de agua está ubicado en los espacios existentes entre los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla; del resto, el 20% en el sarcoplasma y el 10% en el tejido conjuntivo y espacios extracelulares.

Se han realizado numerosos estudios, principalmente aplicando la técnica de la resonancia magnética nuclear (RMN) para conocer el estado en que se encuentra el agua en los sistemas biológicos. Los resultados obtenidos demuestran que las proteínas miofibrilares son las responsables directas de la retención del agua por el músculo y que existen diferentes tipos o estados de unión del agua con los tejidos. Generalmente se acepta que una parte pequeña del agua del tejido muscular, aproximadamente 5%, está

fuertemente unida a las moléculas de proteínas, y se le considera como agua de hidratación. Esta agua es difícilmente afectada por las modificaciones que pueda experimentar la proteína miofibrilar, en su estructura y carga eléctrica, de manera que los cambios de la CRA de la carne se suelen relacionar con el restante 95% de agua. Los datos obtenidos por RMN son controvertidos; unos autores indican que la mayor cantidad de agua tiene un alta ordenación dentro de la fibra muscular y, por consiguiente, su libertad de movimiento es restringida. En cambio otros manifiestan que se encuentra en estado libre, no ligada. (12)

Fennema (1977) expone una clasificación, con la cual parecen estar de acuerdo la mayoría de los autores:

- Agua de constitución.- Está localizada en el interior de la molécula proteica y se encuentra fuertemente ligada a los grupos específicos de la molécula o ubicada en regiones intersticiales. Esta fracción suele ser de 0.003g de H<sub>2</sub>O por gramo de proteína.
- Agua de interfase.- Como su nombre lo indica, se encuentra en la interfase agua-proteína, o muy cerca de ella, y se suelen diferenciar dos categorías: vecinal y multicapa, según se encuentre en la primera o segunda capa monomolecular, adyacentes a la molécula proteica, o bien forme parte de las sucesivas capas monomoleculares alejadas del agua vecinal. Esta última suele ser de 0.3 a 0.5g de H<sub>2</sub>O por gramo de

proteína. El agua de la interfase se encuentra fuertemente retenida y su tensión de vapor es menor que la del agua normal.

- Agua normal.- Constituye la mayor cantidad de agua del sistema celular y se encuentra bajo dos formas, ocluída y libre. La primera se encuentra retenida de la misma forma que el agua en algunos geles y no suele fluir libremente de las células aún cuando se destruya el sistema celular. En cambio, el agua denominada libre fluye fácilmente y sus propiedades son análogas a las del agua normal o de las soluciones salinas diluidas. El autor antes citado, considera que el término "agua ligada", usualmente utilizado en la bibliografía, se refiere a la suma del agua de constitución y el agua interfacial vecinal, mientras que las restantes fracciones se consideran como "agua inmovilizada".

La cantidad de agua inmovilizada dentro del tejido muscular depende de la organización espacial de las proteínas miofibrilares, es decir, de la disposición de los filamentos de actina y miosina. Como se menciona posteriormente, el entramado proteico está constituido por una red tridimensional de filamento delgados y gruesos dentro de la unidad de la fibra muscular. Cuando decrece la cohesión entre los filamentos de actina y miosina, la longitud del sarcómero aumenta, lo cual facilita una mayor retención de agua. En cambio cuando este entramado es muy denso, por efecto del solapamiento de los filamentos, la longitud del sarcómero

disminuye y, como consecuencia, queda muy poco espacio para albergar a las moléculas de agua. En esta distensión y acortamiento del sarcómero intervienen, tanto la carga eléctrica de las proteínas como la presencia de ATP que impide la unión de los filamentos actina y miosina, así como también el pH, y los cambios post-mortem, que se mencionan más adelante.

La capacidad de retención de agua del tejido muscular tiene un efecto directo durante el almacenamiento. Cuando los tejidos tienen poca capacidad de retención de agua, las pérdidas de humedad y, consecuentemente de peso durante su almacenamiento es grande. Esta pérdida de humedad tiene lugar en las superficies musculares de la canal expuestas a la atmósfera durante el almacenamiento. (12, 16)

La capacidad de emulsión de las proteínas miofibrilares, se ve afectada en la carne post-rigor, ya que la actina y la miosina se encuentran formando el complejo actomiosina. Normalmente la carne que se utiliza en las emulsiones cárnicas se encuentra en este estado; a este respecto Hamm (1982) considera que la utilización de carne caliente, en estado pre-rigor, es particularmente aconsejable para la producción de emulsiones cárnicas, ya que esta tiene mayor capacidad de retención de agua y mejores propiedades emulsionantes. (13)

En cuanto a la capacidad de gelificación de las proteínas miofibrilares se encuentran los formados mediante tratamiento térmico de la carne. La

capacidad de gelificación de estas proteínas es una propiedad funcional de gran importancia en la elaboración de productos cárnicos. Tsai *et al.* (1972) realizaron estudios sobre la gelificación de soluciones proteicas de miosina, actina y proteínas sarcoplasmáticas, y observó que la miosina tiene mayor capacidad para formar geles que el resto de las proteínas ensayadas.

Las moléculas de miosina, mediante tratamiento térmico, forman un gel irreversible, que presenta una capacidad de retención de agua muy alta y una elasticidad muy elevada; las propiedades características de este gel sugieren que la gelificación de la miosina se debe a la formación de enlaces estables, como consecuencia de cambios irreversibles en su estructura cuaternaria. Respecto al papel de las restantes proteínas miofibrilares, se ha encontrado que la actina no ejerce ningún efecto sobre la formación de geles, pero su presencia potencia la acción de la miosina. Yasui *et al.*, (1980) observaron que al aumentar la relación miosina-actina, aumenta la rigidez de los geles obtenidos hasta alcanzar un máximo para el valor de 15 en esta relación, a partir de la cual se produce un descenso rápido.

En la carne, las proteínas miofibrilares se encuentran, en gran proporción, formando el complejo actomiosina. Este complejo es disuelto por la acción de fosfatos y tratamiento mecánico (masaje o cóter), en los procesos de fabricación y después de la cocción forma un gel firme que puede englobar 300 a 700 veces su peso en agua. Por su parte, Yasui *et al.* y Ishiorishi *et al.*,

indican que la gelificación de la miosina comienza a los 30°C y alcanza el máximo entre 60 - 70°C; a un pH de 6, en soluciones de KCl 0.6M. (14)

### 1.1.6 BIOQUÍMICA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

El músculo vivo es un tejido muy especializado, que mediante su contracción, convierte la energía química en energía mecánica. Cuando se transforma en carne, después del sacrificio animal, se convierte en un alimento muy nutritivo.

Cuando el músculo se convierte en carne, pierde la capacidad de contraerse y relajarse. Sin embargo algunos aspectos de la contracción y relajación muscular in vivo guardan una íntima relación con el acortamiento y disminución del ablandamiento que acaecen en la carne durante los cambios postmortem. Los procesos bioquímicos que proporcionan energía para la función muscular de los animales vivos son los mismos que llevan a la producción de ácido láctico y la pérdida de la capacidad de retención de agua durante el periodo postmorte. Por lo tanto una buena comprensión de la fisiología de los músculos vivos ayuda a un mejor entendimiento de muchas de sus propiedades postmortales en su papel como alimento. (16)

Las reacciones que entran en juego en la contracción muscular son muy complejas y no están aún totalmente esclarecidas. En forma general la teoría de Marsh-Bendall, dice que en el músculo vivo sólo existen dos

mecanismos motrices fundamentales: la contracción y la distensión activas de la segmentación celular: La contracción activa es provocada por el ATP a un pH de 7.0 y bajo una fuerza iónica fisiológica. Se requiere también de iones magnesio, calcio y potasio. La contracción se basa en la unión de actina y miosina bajo la acción de la ATPasa de la miosina; la relajación resulta de la retrosíntesis del ATP unido a la miosina del complejo actomiosina. (32)

La contracción muscular se inicia por un estímulo que llega a la superficie de la fibra muscular (sarcolema). En el músculo esquelético la contracción se inicia, generalmente, mediante un estímulo nervioso que comienza en el cerebro o en la cuerda espinal y que se transmite al músculo a través de un nervio; las fibras nerviosas que transmiten los estímulos contráctiles a los músculos esqueléticos se denominan nervios motores. Se trata de una de las fibras más largas del sistema nervioso periférico y se encuentran protegidas por una capa de células de Schwann y por la vaina de mielina; esta actúa como aislante de las fibras nerviosas y conjuntamente con los nódulos permite una mayor rapidez en la transmisión del estímulo a lo largo de la fibra. Las fibras nerviosas mielinizadas tienen velocidades de conducción de 30 a 40 veces mayores que las de las fibras carentes de mielina.

En condiciones de descanso normales en las células vivas siempre existe un potencial eléctrico entre su interior y exterior; dicho potencial puede variar entre 10-100 mv, dependiendo del tipo de célula, pero en las nerviosas y

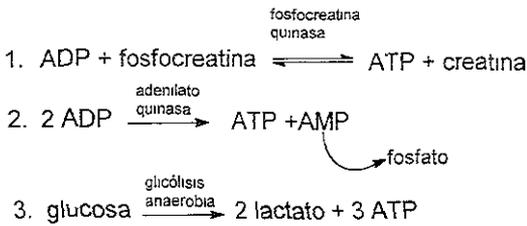
musculares en reposo este potencial alcanza los 80-85 mv. Los líquidos del interior y exterior de estas células contienen aproximadamente las mismas concentraciones de iones positivos y negativos. Normalmente en el líquido intracelular, a lo largo de la superficie interna de la membrana, se acumula un ligero exceso de iones negativos, mientras que a lo largo de la superficie externa hay un ligero exceso de iones positivos. Esta separación de cargas opuestas origina un potencial eléctrico a través de la membrana. (16)

Desde el punto de vista bioquímico, y de forma más clara, se observa que en presencia de ATP e iones  $Mg^{++}$ , mientras que los iones  $Ca^{++}$  quedan retenidos en el retículo sarcoplasmático, la miosina no manifiesta actividad ATPásica y el músculo está en relajación; en estas condiciones no hay ninguna dificultad para el deslizamiento de los filamentos de actina a lo largo de los de miosina, bajo el efecto de una fuerza externa. Las dos proteínas estarían bajo la forma de dos complejos: miosina -  $Mg^{++}$  ATP y actina-ADP.

Siempre en presencia de ATP y  $Mg^{++}$ , cuando el retículo sarcoplasmático cede iones  $Ca^{++}$ , en respuesta a un estímulo nervioso, se manifiesta la actividad ATPásica de la miosina, la hidrólisis del ATP libera energía (alrededor de 10 000 cal por mol) y se produce la contracción muscular por la interacción momentánea miosina-actina, descrita anteriormente. Enseguida el retículo sarcoplasmático recobra el calcio y la contracción llega a su fin con la ineludible condición de que quede ATP e iones  $Mg^{++}$

disponibles. La contracción comienza desde que la concentración de los iones  $Ca^{++}$  alcanza  $10^{-7}M$  y se para cuando desciende a menos de este nivel. (5)

Normalmente el contenido de ATP permanece casi constante; en efecto, este compuesto se forma por tres caminos:



Las dos primeras reacciones se realizan inmediatamente; la tercera solo ocurre cuando el aporte de oxígeno por la sangre no es suficiente para que continúe el metabolismo aeróbico, lo que ocurre, por ejemplo, durante la contracción violenta del músculo normal. La contracción muscular va acompañada por la aparición de creatina y fosfato, de un descenso del contenido de glucógeno (que suministra la glucosa) y formación de ácido láctico. (5)

### 1.1.7 SISTEMA PROTEICO MUSCULAR DESPUÉS DE LA MUERTE

En ausencia de ATP, la actina y miosina se unen en forma irreversible; se produce la rigidez cadavérica o rigor mortis, que surge después de la muerte del animal. (32)

La interrupción de la circulación sanguínea priva al músculo del aporte de oxígeno; la respiración celular se paraliza, el potencial de oxidoreducción pasa de unos +250 a unos -50 mv y surge la glicólisis anaerobia; en estas condiciones el glucógeno en vez de degradarse en agua y anhídrido carbónico, con generación de ATP, en proporción importante a partir del ADP, se transforma en ácido láctico. Las cantidades de ATP producidas por la glicólisis anaerobia no son suficientes para compensar las pérdidas resultantes de su hidrólisis por la ATPasa sarcoplasmática; aunque la fosfocreatina suministre algo de ATP, rápidamente se agota, por otro lado, la formación de ácido láctico origina un descenso de pH, lo que a su vez inhibe progresivamente diversas enzimas. En definitiva la glicólisis se detiene aunque las reservas de glucógeno no se hallan agotado, y el contenido de ATP se aproxima a cero; es entonces cuando la actina y la miosina se unen irreversiblemente como actomiosina. A temperatura ambiente en el músculo vacuno, este proceso exige aproximadamente 8 hrs después de la muerte del animal.

El descenso del pH y la formación de enlaces entre la actina y la miosina

provocan modificaciones en las cargas eléctricas y de la configuración de las proteínas del músculo. Cerca de su punto isoelectrico (pH 5.5), las cadenas proteicas tienen tendencia a aproximarse y formar un conjunto casi cristalino; esto motiva un descenso de la capacidad de retención de agua, lo que influye desfavorablemente en la textura de la carne. (5)

En resumen, las principales características que se presentan en este estado son las siguientes: ver figura 7

- a) Descenso de pH de 7.3-7.5 a 5.4.
- b) Disminución de la capacidad de retención de agua.
- c) Disminución de la resistencia eléctrica y aumento de la aptitud para el curado.
- d) Alteración del color de la carne.
- e) Alteraciones histológicas e histoquímicas.
- f) Disminución de ATP.
- g) Inextensibilidad de los músculos.
- h) Aumento de formación del complejo actina-miosina.

Después de transcurrido el rigor mortis (rigidez cadavérica), la carne entra a un estado de maduración, en el cual adquiere un olor y sabor aromáticos, ligeramente ácido, se reblandece y se torna jugosa; las características principales que presenta en este estado son las siguientes: (31)

- a) Aumento de pH 5.4-5.6 a 6.0.

b) Aumento de la capacidad de retención de agua.

c) Modificaciones apreciables histológicamente en el músculo.

Esta maduración no parece ser el resultado de una disociación de los enlaces establecidos entre la actina y la miosina, sino de la separación de filamentos de actina de la línea Z, bajo la influencia de modificaciones iónicas o bien de enzimas tales como las captasinas procedentes de los lisosomas, liberadas por el descenso de pH. (5)

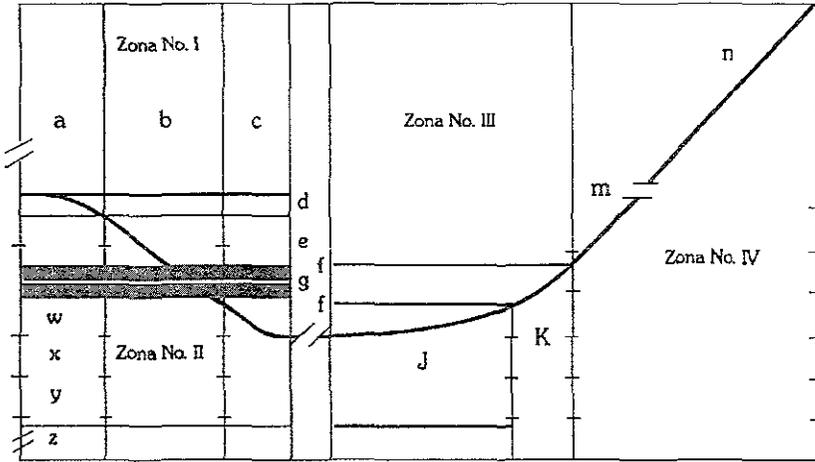


Figura 7. Formación y envejecimiento de la carne en valores de pH y tiempo. (32)

• DESCRIPCIÓN DE LA FIGURA 7. (32)

- pH 7.3 a 5.4 **Zona I: rigor mortis** (es apropiada para el consumo inmediato, elaboración de carnes típicas y de productos escaldados, cocidos y enlatados)
- pH 7.0 a 7.3 a) fase inicial del rigor mortis o fase retardada.
- pH 6.8 a 5.8 b) Fase acelerada del rigor mortis o elasticidad decreciente.
- pH 5.8 a 5.5 c) Fase inicial del rigor mortis o del punto isoeléctrico (miosina).
- pH 7.3 a 6.8 d) Intervalo óptimo para la elaboración de productos de alta humedad, ya sea cocidos o escaldados.
- pH 6.8 a 6.4 e) Intervalo de acidez leve poco apropiado para la elaboración de jamones y embutidos cocidos y escaldados.
- pH 6.4 a 5.8 f) Intervalo práctico apropiado para la elaboración de jamones y embutidos cocidos y escaldados.
- pH 6.1 g) Línea óptima para la elaboración de productos de humedad intermedia.
- pH 5.8 a 0.0 **Zona II: de acidez o de inhibición enzimática** (es apropiada para producto crudos, secos y fermentados)
- pH 5.8 a 5.0 w) Intervalo de menor acidez útil para productos de baja humedad tales como embutidos curados y jamones.
- pH 5.4 a 5.0 x) Intervalo de bastante acidez y buen estado útil para elaborar embutidos crudos normales.
- pH 5.0 a 4.4 y) Intervalo de carne muy ácida, pero de buena conservación apta para embutidos crudos.
- pH 4.4 a 0.0 z) Intervalo de carne no comestible, pero de excelente conservación.
- pH 5.5 a 6.4 **Zona III: maduración o autólisis aséptica** (es la carne fresca aromática, suave y jugosa óptima para el consumo inmediato)
- pH 5.5 a 5.8 j) Fase inicial de maduración con menor acidez.
- pH 5.8 a 6.4 k) Fase óptima de maduración normal. Carne ligeramente ácida
- pH 6.4 a 14 **Zona IV: descomposición microbiana** (comprende aquella que de ninguna manera debe utilizarse como alimento para humanos. Debe desecharse)
- pH 6.4 a 7.0 m) Carne alcalina entre madura y fermentada.
- pH 7.0 a 14 n) Carne de máxima alcalinidad, podrida e inutilizable.

La intensidad de los fenómenos que acompañan la rigidez cadavérica depende, especialmente, del estado nutricional del animal en el momento de su muerte y de la temperatura a la cual se almacena.

En los animales con hambre o sometidos a estrés, la reserva de glucógeno es débil, por consiguiente, después de la muerte hay un rápido descenso del contenido de ATP del músculo. El endurecimiento es por tanto máximo y disminuye mucho la capacidad de retención de agua, aunque el descenso del pH será relativamente pequeño, a causa de la falta de glucógeno.

Cuando después de la muerte no se enfría rápidamente el animal, el pH desciende rápido a un nivel muy bajo; esto puede motivar una desnaturalización de las proteínas musculares y que una gran parte del agua del gel miofibrilar se expulse hacia los espacios intercelulares o incluso se exude fuera del tejido, con lo que la textura de la carne se modifica muy desfavorablemente.

Por el contrario, si el músculo alcanza los 0°C a 1°C antes de la aparición de la rigidez cadavérica, o si se congela esta se producirá en la descongelación, el endurecimiento es rápido e intenso ("cold Shortening, thaw rigor") y está precedido por una contracción del músculo, sobre todo si este último no está mantenido en extensión por el esqueleto.<sup>(5)</sup> Esta manifestación se produce exclusivamente antes de la rigidez cadavérica en músculos con suficientes reservas energéticas (glucógeno, ATP) y obedece a la alteración

de las condiciones de trabajo de la "bomba de calcio" específica, que transporta iones de  $\text{Ca}^{+2}$  entre las membranas del retículo sarcoplasmático y las miofibrillas. Si se encuentran los iones fuera del retículo en las miofibrillas y la temperatura desciende rápidamente, las alteraciones provocadas por la temperatura en las membranas hacen que dichos iones no vuelvan a ser bombeados de regreso, y entonces se produce la contracción del músculo con una intensidad mayor que la registrada en la glucólisis normal.

En los músculos grandes y sin trocear, en los que la temperatura cursa de manera progresiva desde la superficie al núcleo interior con velocidad de enfriamiento decreciente, el acortamiento por frío de los sarcómeros musculares sólo puede producirse en las capas superficiales. (17)

Como se menciona anteriormente, cuando se establece la rigidez cadavérica, hay una pérdida de la capacidad de retención de agua CRA; se ha observado, que esta se ve modificada por la disminución del pH originada por la formación de ácido láctico, y se observa que hay una mínima CRA, a un pH de 5, el cual coincide con el punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares. En este punto, donde la carga de las proteínas es prácticamente cero, existe un máximo de enlaces iónicos entre ellas, y la matriz proteica está contraída. El mínimo de la CRA es consecuencia de la pérdida de atracción eléctrica de los dipolos o moléculas de agua y de la falta de espacio entre

las proteínas miofibrilares. Al elevar el pH aumentan las cargas negativas, las moléculas de proteína se repelen entre sí y la matriz proteica se ensancha. Al mismo tiempo se incrementa la fuerza de atracción eléctrica de los dipolos de agua, lo cual ocasiona una elevación de la CRA.

El incremento de la CRA se da durante la maduración, debido al aumento del pH y a la degradación enzimática de la estructura miofibrilar. (16)

## 1.2 EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS TERMICOS DE CONSERVACIÓN DE LA CARNE

El destino de los productos animales puede ser muy variado (artículos para entrega a industrias, productos para la venta, producción de alimentos a escala industrial, etc.) Entre estos artículos procede establecer una amplia clasificación:

- Semiproductos: después de la descongelación se someten a tratamiento por calor.
- Productos refrigerados y congelados dispuestos para la mesa: después del tratamiento térmico se almacenan refrigerados o congelados, y para su consumo basta con descongelarlos y calentarlos.

La diferencia entre ambos métodos estriba en que tenga lugar o no un tratamiento térmico en el curso de la elaboración. La preparación de la carne se realiza independientemente de su elaboración posterior por métodos convencionales en las correspondientes líneas de elaboración.

Esencialmente con el tratamiento térmico se consigue destruir las formas vegetativas de los microorganismos y la inactivación de las enzimas tisulares.

En la práctica se distingue una serie de variantes del tratamiento por calor, que en principio pueden reducirse a determinados métodos fundamentales, a

procedimientos de tiempo largo y corto, así como a métodos en seco y en húmedo, según las circunstancias de transmisión del calor, magnitud de la temperatura de calentado y presiones parciales de vapor. Los procedimientos restantes son modificaciones diversas de las técnicas clásicas. (17)

### 1.2.1 TRATAMIENTOS TERMICOS A ALTAS TEMPERATURAS

El tratamiento térmico a altas temperaturas constituye un método de conservación empleado para disminuir la actividad de microorganismos causantes de alteración y potencialmente tóxicos de la carne y de sus productos, y/o para inactivar las enzimas endógenas capaces de llevar a cabo cambios deteriorantes. Ello contrasta con la refrigeración y congelación que disminuyen o cesan el crecimiento microbiano, pero que generalmente no destruyen los microorganismos. (16)

Por "calentamiento" se entiende habitualmente todos los métodos que confieren a los alimentos propiedades deseables con la ayuda de calor. Como consecuencia, se producen diversas modificaciones físicas y químicas. (17)

- TRATAMIENTOS TERMICOS SIN CAMBIO DE FASE

1. CONSERVACION DE LA CARNE POR ESTERILIZACIÓN

En el tratamiento térmico para la conservación de la carne se utilizan dos niveles térmicos: un proceso de calentamiento moderado en el que los productos alcanzan temperaturas de 58-75°C; es el empleado en el cocinado de la mayoría de los productos cárnicos procesados. Este tratamiento térmico destruye parte, pero no todos los microorganismos presentes e inactiva también otros organismos; se le conoce como pasteurización. Con la pasteurización la vida de los productos cárnicos aumenta, pero después de sometidos a este tratamiento todavía tienen que almacenarse bajo refrigeración. Un calentamiento más severo, generalmente a temperaturas superiores a 100°C es el empleado para preparar productos cárnicos "comercialmente estériles", que son estables a temperatura ambiente durante un año o más. Este proceso se le denomina esterilización. Tal tratamiento, o destruye todos los microorganismos potencialmente alterantes, o determina en las células microbianas un daño suficiente como para hacer imposible su desarrollo. La palatabilidad de la carne generalmente se disminuye a medida que se calienta a temperaturas superiores a las empleadas en la pasteurización.

Los productos cárnicos "autoestables" presentan un fuerte y típico aroma sulfhídrico, debido a la gran desnaturalización proteica que tiene lugar

durante el tratamiento térmico. Además se modifica la textura del producto debido a la degradación de los tejidos conectivos. (16)

#### • TRATAMIENTOS TERMICOS CON CAMBIO DE FASE.

La desecación de la carne al sol o sobre fuego data de tiempos prehistóricos; el efecto conservador de la deshidratación se debe a la reducción de la actividad de agua ( $a_w$ ) a un nivel tan bajo que se inhibe el crecimiento microbiano, por lo que tales productos cárnicos son estables sin necesidad de refrigeración. (16)

Dentro de los métodos de deshidratación empleados en la conservación de la carne, podemos encontrar la deshidratación por aire caliente y la liofilización.

### 1. CONSERVACION DE LA CARNE POR DESHIDRATACIÓN

Por deshidratación en aire caliente pueden obtenerse productos triturados de carne cocida de calidad aceptable. Sin embargo, deben controlarse cuidadosamente factores tales como temperatura, tamaño de partícula y velocidad del aire; los productos cárnicos deshidratados de esta manera, tiene una humedad residual de, aproximadamente el 5% y, en consecuencia, durante un almacenamiento prolongado pueden experimentar ciertos cambios deteriorativos. La grasa, especialmente la del cerdo, después de

sometida a este proceso, tiene tendencia al enranciamiento, lo que puede retrasarse, bien mediante la adición de antioxidantes, o envasando el producto en forma tal que se elimine el oxígeno. La deshidratación es un proceso lento que puede aplicarse a la carne cruda o a piezas grandes de carne cocida por que el endurecimiento resultante de su superficie origina un producto de muy poca aceptabilidad para el consumidor; los productos además encogen considerablemente y sus propiedades de rehidratación son pobres a causa de la desnaturalización proteica que acaece durante el proceso. (16)

## 2. CONSERVACION DE LA CARNE POR LIOFILIZACIÓN

En el método convencional el producto cárnico permanece congelado durante el ciclo de deshidratación mientras su agua congelada interna (hielo) se elimina aplicando calor suficiente para transformarlo directamente en vapor de agua sin pasar por el estado líquido.

La rápida sublimación del agua del producto cárnico lo enfría suficientemente como para prevenir su descongelación y a medida que el proceso de deshidratación va teniendo lugar del exterior al interior, el bajo coeficiente de intercambio calórico de la porción deshidratada externa evita que la porción congelada interna alcance una temperatura lo suficientemente alta para determinar su descongelación.

El proceso de liofilización se lleva a cabo en una cámara de vacío y se emplean vacíos cuya presión es de 1.0 a 1.5 mm de Hg, la temperatura de la cámara puede alcanzar hasta los 43°C sin que se origine descongelación alguna; la velocidad de liofilización viene limitada por la velocidad con que el calor puede transferirse en el producto cárnico para que continúe la sublimación.

La carne que ha sido cocida antes de liofilizarla, normalmente es más estable que la que no lo ha sido y tiene una vida de almacén de 2 a 4 veces mayor.

La estabilidad de los productos cárnicos liofilizados depende del método de deshidratación seguido, de su contenido de humedad residual, del método de envasado, de la temperatura de almacenamiento y de la calidad del producto antes del proceso.

La condición fundamental para conservar la estabilidad del producto es la exclusión del oxígeno y de la humedad, lo que exige el empleo de materiales de envasado impermeables. Entre los factores físicos y químicos que más influyen en la estabilidad, rehidratación y palatabilidad de los productos cárnicos liofilizados deben citarse el desarrollo de rancidez, el pardeamiento no enzimático y la desnaturalización proteica. La mayoría de los nutrientes presentes en la carne, con la excepción de la tiamina, son relativamente estables a la liofilización. La desnaturalización proteica que

tiene lugar ejerce muy poca influencia en el valor biológico de la proteína.

Los productos cárnicos liofilizados mantienen esencialmente su forma y tamaños originales, en consecuencia son muy porosos y mucho más fácilmente rehidratables que los productos deshidratados por aire caliente. Sin embargo, la textura y el aroma de las carnes liofilizadas tanto cruda como precocida, son muy afectados por el método de rehidratación. (16)

### 1.2.2 TRATAMIENTOS TERMICOS A BAJAS TEMPERATURAS

Para prolongar la vida de la carne y para el almacenamiento de todos los productos cárnicos frescos y de la mayoría de los procesados, es absolutamente imprescindible el conservarlos de alguna manera. El método más corriente de prolongar la vida útil de la carne es el empleo de la refrigeración (refiriéndonos a temperaturas de  $-2$  y  $5^{\circ}\text{C}$ ). Casi toda la carne fresca se mantiene bajo tales temperaturas de refrigeración; ésta generalmente comienza con el enfriamiento de las canales, inmediatamente después del sacrificio, continúa durante el almacenamiento subsiguiente, durante el despiece, tránsito, fabricación y exhibición de cortes para la venta, y en el almacenamiento en refrigeración por parte del consumidor. (16)

Por otro lado cuando existe un excedente de producto, el cual se va distribuyendo lentamente o cuando se requiere trasladar el producto a largas distancias, la congelación del producto hace posible la buena

conservación del mismo. Actualmente, la carne es fácilmente congelada y mantenida en congelación antes de su consumo, por lo que la congelación parece ser una forma ideal de almacenamiento de la carne; cabe mencionar que aun que los cambios bioquímicos y sensoriales son minimizados por este proceso, la carne en estado congelado no presenta una gran aceptación por parte del consumidor final. (22)

Para obtener la mejor calidad de los productos es esencial entender los efectos del congelamiento, almacenamiento y descongelamiento en su estructura física, afectando su textura y composición química, lo cual repercute entre otras cosas, en la calidad nutricional, sabor y color.

- **TRATAMIENTOS TERMICOS SIN CAMBIO DE FASE**

1. **CONSERVACION DE LA CARNE POR REFRIGERACIÓN**

Una vez completado el proceso de carnización, la temperatura interna de las canales varía generalmente entre los 30 y 39°C. Este calor corporal debe de eliminarse durante el período de enfriamiento inicial, de forma que la temperatura interna de las porciones más gruesas de la canal se reduzca a 5°C o menos, lo más rápidamente posible.

Los factores que más influencia ejercen en las velocidades de enfriamiento son: El calor específico de la canal, su tamaño, la cantidad de grasa externa y la temperatura del medio de enfriamiento. El calor específico es

directamente proporcional a la relación de carne magra a grasa de la canal. La grasa reduce la eficacia de la disipación del calor.

Otros factores que afectan la velocidad de enfriamiento son el número de canales colocadas en la sala y el espacio existente entre ellas. Para asegurar una rápida disipación del calor debe haber espacio suficiente entre las canales que permita una buena circulación del aire.

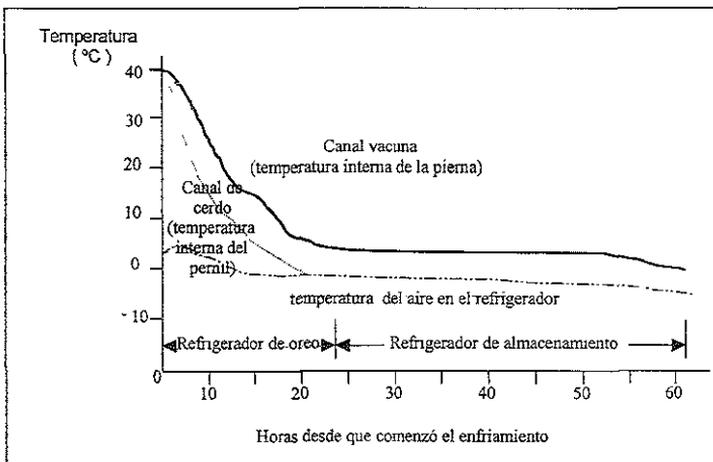


Figura 8. Curvas típicas de enfriamiento (16)

En la figura 8 se muestran las curvas típicas de enfriamiento de canales de vacuno y de cerdo. Las temperaturas corresponden a las interiores de la pierna y del pernil respectivamente Figura 8.

El almacenamiento en refrigeración de la carne y sus productos se limita generalmente a períodos de tiempo corto, dado que los cambios alterativos continúan y la velocidad de muchos de estos cambios de hecho se acelera con el tiempo.

Los principales factores que influyen en la vida útil de la carne almacenada bajo refrigeración son la carga microbiana original, las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento, la presencia o ausencia de envolturas protectoras, la especie animal y el tipo de producto que se almacene.

La carga microbiana inicial ejerce un marcado efecto en la vida de almacén de la carne fresca y de los productos procesados, sin embargo, el reducir al mínimo la contaminación interior durante todas las fases subsiguientes de manipulación, procesado, envasado y almacenamiento sigue siendo todavía indispensable para mantener las propiedades cualitativas óptimas de la carne y prolongar su vida útil.

El período de tiempo que el consumidor puede mantener la carne en refrigeración en su hogar viene también determinado por las condiciones de manejo previo; sin embargo, en casa la carne fresca se debe consumir incluso bajo condiciones ideales de refrigeración, durante los cuatro días siguientes de su compra. La carne fresca que no se consume en este tiempo debe congelarse. En el hogar, durante el proceso de congelación lenta, tiene lugar cierto deterioro de la calidad, deterioro que debe preferirse a la alteración y coloración bacteriana que podría desarrollarse, si la carne fresca sin congelar se mantuviera en el refrigerador doméstico durante largos períodos de tiempo. (16)

## • TRATAMIENTOS TERMICOS CON CAMBIO DE FASE

### 1. CONSERVACION DE LA CARNE EN CONGELACION

Con el paso del tiempo, la congelación de los alimentos ha dejado de ser meramente un método para proporcionar alimentos para la supervivencia; en lugar de esto, se ha transformado en un procedimiento para obtener alimentos de mejor calidad y lo que es más importante, en un medio de distribuir alimentos a una población siempre en aumento. Sin embargo, en los años recientes ha aparecido una nueva aplicación en la que los alimentos congelados están contribuyendo significativamente al cambio de modelo social en los países más civilizados del mundo, tanto en el campo doméstico como en la distribución de alimentos. (10)

Se admite que la congelación es un excelente medio de conservación de la carne ya que propicia menor cantidad de cambios perjudiciales en las propiedades cualitativas y sensoriales en comparación con otros métodos de conservación; además durante la congelación y el almacenamiento en estas condiciones, se conserva la mayor parte del valor nutritivo. Las únicas pérdidas en cuanto a valor nutritivo ocurren cuando algunos nutrientes hidrosolubles se pierden con el goteo o exudación durante la descongelación; éste depende de las condiciones de congelación y descongelación, por lo que las pérdidas nutritivas de la carne congelada varían también consecuentemente. Los nutrientes encontrados en el goteo son sales,

aminoácidos, algunas proteínas y péptidos y vitaminas hidrosolubles. Ninguno de los nutrientes de la carne se destruye o se hace indigestible bajo la acción de la congelación. (16, 18)

El proceso de congelación es simplemente la cristalización del agua en el tejido muscular, incluyendo su consecutivo proceso de nucleación y crecimiento de cristales. La carne no se congela inmediatamente cuando la temperatura decrece por debajo del punto de congelación y el calor latente ha sido removido. El número de núcleos es grande en el espacio extracelular, y estos son solamente formados dentro de la célula cuando la velocidad de remoción de calor es alta. Tan pronto como el núcleo es formado, este empieza a crecer por la acumulación de moléculas en la interfase sólido-líquido. De cualquier manera, la forma de crecimiento depende de la microgeometría y la temperatura de distribución del frente de congelamiento que da como consecuencia la formación de dendritas y su posterior crecimiento. Un concepto importante es el tiempo de congelación característico, el cual es una medida de la velocidad de congelación local y se define como el tiempo en el cual el punto en consideración decrece de  $1^{\circ}\text{C}$  (comienzo de la congelación) a  $-7^{\circ}\text{C}$  (cuando el 80% del agua es congelada). El crecimiento de cristales extracelulares también tiene lugar a expensas del agua intracelular. Esto debido a una deshidratación parcial de las fibras musculares y su subsecuente deformación. A velocidades de

congelación lentas, la formación de cristales es alta y la deformación del tejido es grande. (22)

Como se menciona anteriormente, el efecto de la velocidad de formación de cristales en el cambio de fase, y la disminución del deterioro de los alimentos está ampliamente vinculada con los cambios fisicoquímicos, que son la base para establecer las condiciones bajo las cuales el alimento debe ser tratado térmicamente, y su relación con las variables de comportamiento termodinámico características del proceso, las cuales están íntimamente ligadas con la fracción de agua congelable, la velocidad de formación de cristales y el crecimiento de los mismos. (10)

Un momento muy importante desde el punto de vista de la conservación de la calidad del producto es el propio proceso de congelación. El objetivo es hacer este proceso reversible. Sin embargo, hasta ahora no se ha conseguido esto. La modificación de las fases del agua con el característico aumento del volumen, así como la acción de soluciones celulares concentradas, dañan la estructura coloidal de los productos. La magnitud y el carácter de estas modificaciones, en su mayoría irreversibles, dependen del tipo de producto y de la realización técnica del proceso de congelación.(17)

Cuando se emplean métodos convenientes de congelación y almacenamiento, son muy pocos los cambios que ocurren en el color, aroma, olor, o jugosidad

de los productos cárnicos cocinados. El color oscuro de la carne fresca congelada se hace brillante al exponerla a la acción del oxígeno del aire. Por lo que las propiedades cualitativas de la carne congelada se aproximan a las de la fresca.

Con el fin de mantener su calidad óptima, la carne que va a ser congelada, debe manipularse de una manera similar a la utilizada para carne refrigerada, especialmente si se va a mantener en almacenamiento en congelación durante varios meses, dado que incluso a las temperaturas de almacenamiento en congelación continúa verificándose cierto grado de deterioro. La calidad de la carne congelada es gobernada por la cadena completa del procesamiento, desde el sacrificio a través del procesamiento, congelamiento, almacenamiento y descongelamiento antes de ser consumida. La ternura, por ejemplo no puede ser determinada por una inspección visual, y los cambios de color pueden o no indicar una calidad aceptable para consumo. La carne es algunas veces comprada hacia el final del período de almacenamiento, por lo que es apremiante congelarse inmediatamente en el hogar, donde se sujeta a temperaturas de almacenamiento desconocidas, a un pobre control de la temperatura, resultando un producto de calidad pobre en términos de sabor. (22, 16)

## • FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DEL PROCESO DE CONGELACIÓN

En los alimentos no aparece el agua nunca en estado puro, sino en forma de soluciones: una parte del agua se haya firmemente ligada en las estructuras proteicas y polisacáridos. Estos hechos influyen esencialmente sobre las propiedades físicas del agua y también sobre el propio proceso de congelación. El agua forma con estas sustancias una solución con dispersión de las moléculas. Esto motiva la modificación de las peculiares características físicas del agua, por ejemplo, disminuyendo la temperatura de congelación, aumentando la temperatura de ebullición y reduciendo la tensión de vapor de agua sobre la solución. Las moléculas de la sustancia soluble se oponen al movimiento de las moléculas de agua, anulan este movimiento y con ello reducen la velocidad de difusión. Por razones semejantes se reduce también la velocidad de cristalización de las soluciones (la velocidad de crecimiento de los cristales en la proteína del huevo es 10-20% menor que en el agua, y en el tejido muscular un 20-30% menor que en ésta); pero no solo la presencia de sustancias extrañas en la solución influye sobre las propiedades de ésta. Es importante también como estén unidas las sustancias a las moléculas de agua. La forma de esta unión puede ser muy variable. Una parte del agua que está sólidamente unida a las sustancias proteicas no se congela nunca, ni siquiera con temperaturas muy

bajas, circunstancia que influye sobre las propiedades físicas de la solución congelada y provoca también el descenso de la entalpía específica de solidificación. (17)

La mayoría de los alimentos, cuando se examinan al microscopio, aún muestran la estructura celular del animal o planta del que se han obtenido. Las células animales y vegetales están envueltas de una membrana celular compuesta de una estructura estratificada de lípidos y proteínas conocida como lipoproteína. Dicha membrana es selectivamente permeable a los iones y moléculas. Del agua total de los tejidos vivos, una pequeña parte está ligada, en cierta forma, a las moléculas de proteína y almidón que los componen. Una mayor proporción no está combinada de ninguna forma y frecuentemente se describe como agua libre. El hecho de que esta agua no fluya del tejido vivo cuando se le corta, indica que está retenida de alguna forma, probablemente dentro de una red constituida por cadenas de proteínas o moléculas de almidón, pero no ligada directamente a ellas. (10)

Las manifestaciones aparecidas durante la congelación dependen de las condiciones del método de congelación, pero principalmente de la velocidad de enfriamiento.

La fase acuosa de los tejidos animales es una solución que contiene sales disueltas. Los primeros cristales de hielo aparecen a los  $-1^{\circ}\text{C}$ . Después a medida que el agua cristaliza, esta solución se concentra disminuyendo así la

temperatura de equilibrio hielo-solución. Para una composición dada, existe una relación entre el contenido de hielo y la temperatura

El proceso de cristalización, o sea, la formación de cristales de hielo, requiere de tiempo y de una determinada cantidad de energía. Las moléculas de agua, que están desordenadas o sólo ligeramente ordenadas, deben desplazarse en la dirección correspondiente de la malla cristalina. Este movimiento se ve frenado por la presencia de partículas de sustancias extrañas, lo cual aumenta el tiempo necesario para la formación de la estructura cristalina. Al final, y si el enfriado de la solución es muy rápido, una parte del agua puede convertirse en hielo amorfo. Este proceso, viene determinado por dos velocidades: la tasa de formación de los núcleos de cristalización y la velocidad de crecimiento de los cristales. Ambas magnitudes explican en su relación con temperaturas variables una serie de problemas prácticos de la congelación. (17)

En la figura 9, se presenta la curva típica de congelación de la carne, en la cual se muestra que ésta empieza a congelarse a los  $-2^{\circ}\text{C}$ , y a los  $-5^{\circ}\text{C}$ , el 80% del agua congelable es congelada, y a  $-30^{\circ}\text{C}$  cerca del 90%, por otro lado muestra claramente el punto de subenfriamiento, aproximadamente a los  $-8^{\circ}\text{C}$ , en donde el calor latente disminuye con un progresivo decremento en el punto de congelación, debido al aumento en la concentración de los sólidos disueltos.

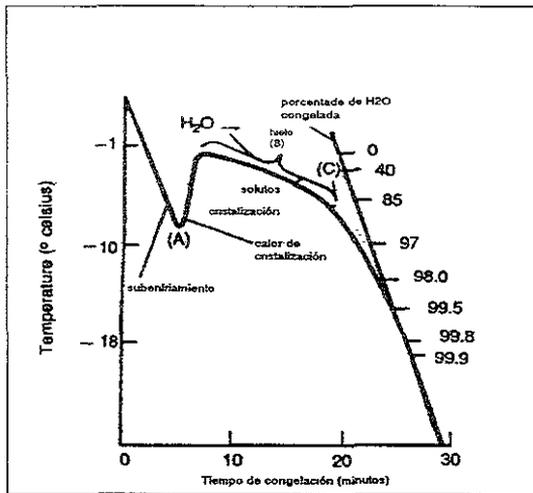


Figura 9. Curva típica de congelación de carne (28)

Aparentemente la velocidad de congelación afecta no sólo al tamaño de los cristales de hielo formados, sino también a su localización. Parece que si la congelación es muy rápida, se forman cristales muy pequeños en el interior de las células; pero si es lenta, los cristales se forman en los espacios intercelulares.

El fluido que rodea y baña las células está constituido por una solución menos concentrada en nutrientes que el contenido en el interior de las células, y por ello se congelará a una temperatura menos baja. La formación de algunos cristales de hielo durante la congelación lenta concentra, en efecto, el fluido extracelular de tal forma que el agua sale de las células, diluyéndolo. Las lipoproteínas que forman parte de la membrana celular también sufren un cambio, y la membrana celular ya no es capaz de

conservar su naturaleza semipermeable. El agua, por lo tanto, sale de las células, dejando atrás un complejo de moléculas de proteínas irreversiblemente deshidratadas y desnaturalizadas Fig. 10. Para las células, el resultado final de este movimiento de agua es su concentración y deformación mientras los cristales continúan creciendo en los espacios extracelulares. (10, 26)

El grado de concentración de las moléculas de agua ligada resultante de las fuerzas de adsorción se manifiesta en diferencias importantes referentes a las propiedades (mayor densidad, menor tensión de vapor, diferentes magnitudes de la capacidad calorífica específica y de la constante dieléctrica). (17)

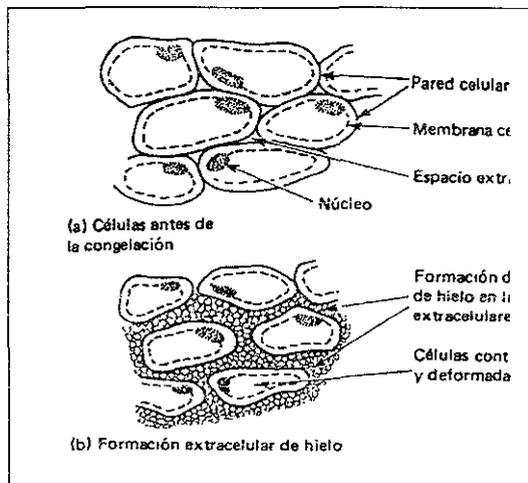


Figura 10. Representación diagramática de la formación de cristales en alimentos con estructura celular (10)

El daño en congelación se refiere a los cambios irreversibles en el tejido debidos al proceso de congelación, los cuales se manifiestan después de descongelar el producto. Este daño se da como consecuencia de diferentes procesos o mecanismos, como podrían ser, el daño por frío, el daño por concentración de solutos, el daño por deshidratación y el daño debido a la forma de los cristales.(29, 26)

Por otro lado durante el almacenamiento y el transporte, se dan ciertas fluctuaciones de temperatura, lo que lleva a la activación del proceso de recristalización, causando un alargamiento de los cristales de hielo, disminuyendo con esto las ventajas obtenidas por una buena congelación o una congelación rápida. Esta recristalización se lleva a expensas de los pequeños cristales de hielo, los cuales tienden a desaparecer, con la consecuente disminución del número de cristales, el alargamiento promedio del tamaño del cristal y el decremento en la calidad del producto.

La palabra recristalización, involucra cualquier cambio en el número, tamaño, forma, orientación ó perfección de los cristales después de que se ha completado la solidificación inicial.

Este fenómeno puede ser explicado basándose en principios termodinámicos en los cuales los sistemas tienden a un estado de mínima energía. A este respecto, Fennema et.al. (1973) clasifican el fenómeno de recristalización en isomásica, migratoria y aumentativa.

La isomásica y la migratoria son los tipos más probables de recristalización en alimentos; aun que todas ellas tiendan a disminuir la energía superficial de la fase cristalina.

Por su parte la recristalización isomásica ocurre cuando el cristal de forma irregular y superficie larga con relación al volumen radial adopta una estructura más compacta. La recristalización migratoria ("crecimiento del grano"), es una tendencia de los cristales largos del sistema a crecer a expensas de los pequeños; En cuando a la aumentativa, se da por el contacto entre cristales. (2)

### 1.2.3 EFECTOS DE LA CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN EN LA CALIDAD DE LA CARNE

La mayoría de la industria de alimentos, elabora productos, que pueden ser vendidos como productos procesados, refrigerados y/o congelados, y estos últimos, eventualmente deben ser descongelados previo consumo. El proceso de descongelación en este caso es altamente incontrolable, lo cual ocasiona alteraciones observables por el consumidor. Sin embargo, cuando se requiere descongelar grandes cantidades de materia prima o producto, generalmente productos perecederos que deben de ser preservados hasta su posterior procesado, dando como consecuencia, cuando la descongelación sigue estando sin control, posiblemente pérdidas económicas y de calidad, no solo perceptibles por el consumidor, sino que afectarán directamente en la producción, (8)

Sabiendo que las ventajas obtenidas por el empleo de temperaturas por debajo del punto de congelación como son: el aumento o prolongación de la vida de anaquel, la disminución del deterioro por microorganismos o por alteraciones químicas, tienden a perder importancia al ser descongelados, como en el caso de la carne que presentará, como se mencionó anteriormente, disminución de características específicas como pérdida de jugos por exudación.

Los exudados o fluidos en la descongelación contienen, entre otros componentes a proteínas, péptidos, aminoácidos, ácido láctico, purinas, vitaminas del complejo B así como algunas sales son algunos de los constituyentes de estos exudados.

El tipo de estos se determina por dos factores:

- 1- El referido al tamaño y forma de las piezas de carne, la orientación del corte con respecto a las fibras, la presencia de vasos sanguíneos y la relativa tendencia a la evaporación o condensación en los intersticios durante la descongelación;
- 2- Los factores concernientes a la naturaleza del proceso de congelación y con la capacidad de retención de agua de las proteínas musculares determinando el volumen obtenido en la descongelación.<sup>(25)</sup>

Hablar de que el proceso de descongelación es el inverso del de congelación, es ver las cosas de una manera muy simple, ya que su analogía es solamente en términos muy generales.

Los métodos de descongelación tienen su fundamento, al considerar solamente al producto, en las propiedades térmicas, a sus características dieléctricas y a su resistividad eléctrica.

Estos métodos térmicos, cuando utilizan, la convección para propiciar la transferencia de calor en el alimento, aprovechan las propiedades, características y condiciones del aire o del agua; del vapor a presión

inferior a la presión atmosférica, y más raramente placas calefactoras, tubos térmicos o radiación infrarroja. Los métodos eléctricos calientan por el efecto Joule (resistencia) o dieléctrico, o por microondas. En la descongelación industrial, la elección del método está supeditada sobretodo a la duración de la operación y al costo. El aspecto del producto, las consideraciones microbianas y las pérdidas de masa, son factores importantes de apreciación, si el producto se vende descongelado y menos importantes si está destinado a la transformación.

La concepción de un sistema de descongelación implica conocer bien el proceso a seguir para obtener la duración de descongelación deseada, así como sus efectos sobre el exudado, las pérdidas por evaporación del agua, el aspecto y la calidad microbiológica. (20)

Una de las diferencias, es que el calor para llevar a cabo el cambio de fase debe pasar a través del material, el cual tiene una conductividad térmica menor; mientras que en la congelación, el calor removido sale del material con una conductividad térmica mucho mayor. (8)

Para demostrar que el proceso de descongelación no es el inverso de la congelación, Fennema dio una demostración en la cual muestra que el tiempo que se tarda en llevar de  $-80^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  un gel de almidón, es tres o cuatro horas mayor, que un gel idéntico en alcanzar  $-80^{\circ}\text{C}$  desde una temperatura inicial de  $80^{\circ}\text{C}$ . Esto como consecuencia de las diferencias en las

propiedades térmicas del agua y del hielo.<sup>(29)</sup>

Para evaluar el nivel de daño, Love (1955) utilizó la concentración de ácido fosfodesoxiribonucleico (DNAP) en una serie de estudios en exudados de tejido muscular de pescado, en donde el DNAP, que se encuentra exclusivamente en el núcleo de las células musculares, y este dentro de la membrana celular (sarcolema), apareció en el fluido extracelular, indicando con esto que el grado de deterioro es lo suficientemente grande para romper el sarcolema.<sup>(26)</sup>

Como se mencionó anteriormente los atributos de calidad de un producto que fue sometido a congelación, dependen no solamente de las características del producto y del método empleado para congelarlo, sino también de las condiciones de almacenamiento y del método de descongelación, y en todos los casos de las condiciones bajo las cuales se controle cada paso para lograr un producto adecuado para el consumo.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

- Evaluar el daño infringido al tejido muscular en carnes conservadas por congelación mediante pruebas enzimáticas, para determinar el efecto de la velocidad de congelación y recongelación sobre la estructura de las proteínas de la carne de cerdo, e inferir así los cambios en las propiedades texturales en comparación con la carne fresca.

### Objetivos particulares:

- Definir el perfil enzimático útil para establecer el nivel de daño estructural, por efecto de la velocidad de congelación y recongelación; mediante técnicas enzimáticas.
- Evaluar el nivel de daño celular, por efecto de la velocidad de congelación y recongelación mediante el empleo de técnicas enzimáticas.
- Evaluar las características texturales de la carne antes y después del tratamiento térmico, para evaluar el nivel de deterioro de éstas y contrastarlo con el daño en la estructura celular ocurrida durante el proceso de congelación y recongelación.

## 2.1 Cuadro metodológico

Para llevar a cabo el presente trabajo, y cumplir con los objetivos planteados anteriormente, se procedió a diseñar el cuadro metodológico, con el fin de tener una guía para la planificación y secuencia de actividades a realizar para obtener las conclusiones necesarias que satisfagan al objetivo general.

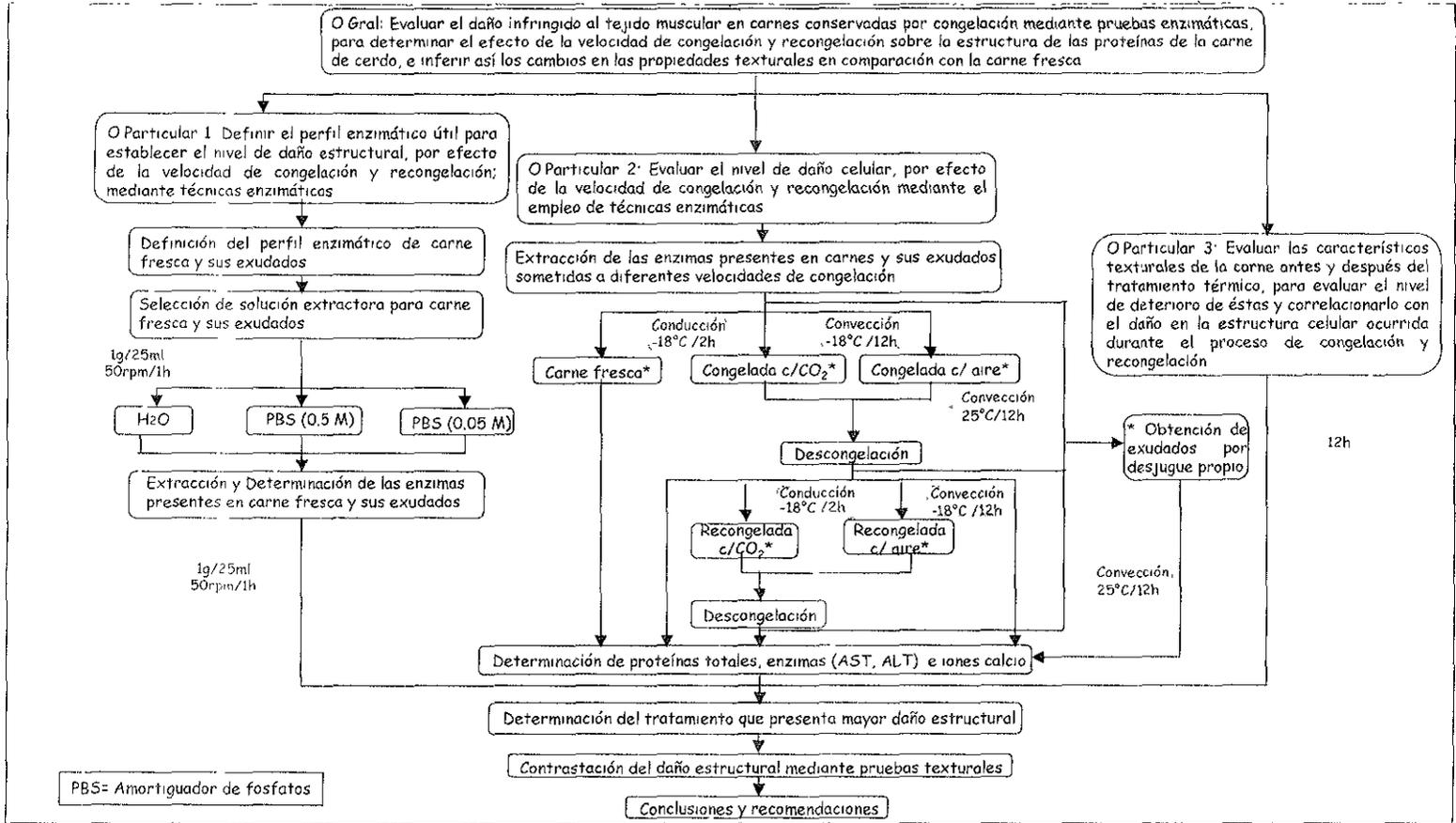


Figura 11. Planeación experimental

## 2.2 Descripción Experimental

Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó lomo de carne de cerdo, castrado de 6 meses de edad, con peso aproximado de 100kg. Se recomendó que las condiciones de sacrificio fueran constantes y se seleccionó siempre al mismo proveedor.

Se utilizó lomo de carne de cerdo, ya que esta es un músculo liso, magro, suave y que presenta una disposición de fibras musculares en una sola dirección.

Para el estudio, se requirieron trozos de 1 cm de espesor cortados de tal forma que se disminuyera o eliminara el daño que se podría provocar por el mismo (mismo cuchillo, afilado antes del corte y en una sola "pasada"); las piezas se dejaron desjugar 12 h previas al tratamiento térmico separándose en dos lotes para ser sometidas al mismo proceso de congelación. Cada uno de los lotes (3 trozos por recipiente) fue congelado por cada uno de los métodos, el primero congelación por aire (convección libre), en un congelador comercial, y el segundo con  $CO_2$  (conducción).

Se estableció inicialmente el tiempo requerido para llegar a  $-18^\circ C$  en ambos métodos, siendo el tiempo requerido para el sistema con aire de 12 h, y de 2 h para la congelación con  $CO_2$ .<sup>(33)</sup> Posteriormente, la descongelación de todas las muestras se llevó a cabo a una temperatura de  $25^\circ C$  durante 12 h, las muestras descongeladas, fueron nuevamente sometidas a desjugado en

las mismas condiciones y estos jugos reunidos con los obtenidos anteriormente, fueron sometidos al análisis, como se indica en la figura 11 de planeación experimental.

En la determinación del probable daño por la recongelación, la segunda parte de la muestra fue sometida nuevamente al mismo tratamiento bajo las mismas condiciones experimentales de congelación.

Previa realización de las pruebas enzimáticas, y para definir el perfil en carne fresca como patrón de referencia, se efectuó la selección de solución extractora [ $H_2O$ , PBS (0.5M) y PBS (0.05M), pH 7.0] para la extracción y determinación de enzimas en carne fresca y sus exudados, se utilizó 1g de muestra, (la carne se trabajó en corte y no molida, para evitar daños estructurales debido a la molienda) con 25 ml de solución extractora, con una agitación a 50rpm durante 1h.

Para la determinación de enzimas, proteínas y de Calcio se utilizó un equipo auto analizador de química clínica Express 550<sup>®</sup> CIBA-CORNING.

El nivel de daño celular se realizó mediante la aplicación de técnicas enzimáticas empleadas en el diagnóstico clínico. De este modo, se utilizaron kit's para la determinación de Aspartato aminotransferasa (AST) y Alanin aminotransferasa (ALT); para la determinación de proteínas se empleó el método de biuret y para la de Calcio el método colorimétrico (complexona) evaluando el efecto de la velocidad de congelación y recongelación basadas

en la fuente de extracción de calor para el caso de muestras de carne congelada con  $CO_2$  (conducción) y aire (convección natural), así como recongelada, incluyendo exudados de cada caso particular.

Posteriormente, a fin de contrastar con el daño en estructura celular y el conjunto de observaciones obtenidas de la congelación y recongelación, se llevó a efecto la evaluación de características texturales previas y posteriores al tratamiento térmico mediante pruebas de perfil de textura (TPA), en un equipo analizador de textura TA500® de LLOYD INSTRUMENTS. Empleando como aditamento la placa circular de 4.5cm de diámetro.

Los parámetros considerados en el análisis del perfil de textura fueron:

- *Dureza (H)*, (expresada como la fuerza máxima requerida en el primer ciclo de compresión, altura máxima del primer ciclo)
- *Cohesividad ( $A_4/A_1+A_2$ )*, (comprendida como la relación entre el área positiva total del segundo ciclo de compresión y el área total de primero)
- *Elasticidad, (c)*, (relación entre la primer área del primer ciclo de compresión, o sea, el área calculada desde el inicio de la prueba hasta el pico de dureza, y la primer área del segundo ciclo)
- *Masticabilidad o masticosidad* (evaluada como el producto de la dureza por la cohesividad y por la elasticidad)

Parámetros propios de éstas pruebas, y que pueden visualizarse en la figura

No. 12;(4) fácilmente comprensibles para el consumidor y que se ven modificados por efectos del método empleado para congelar.

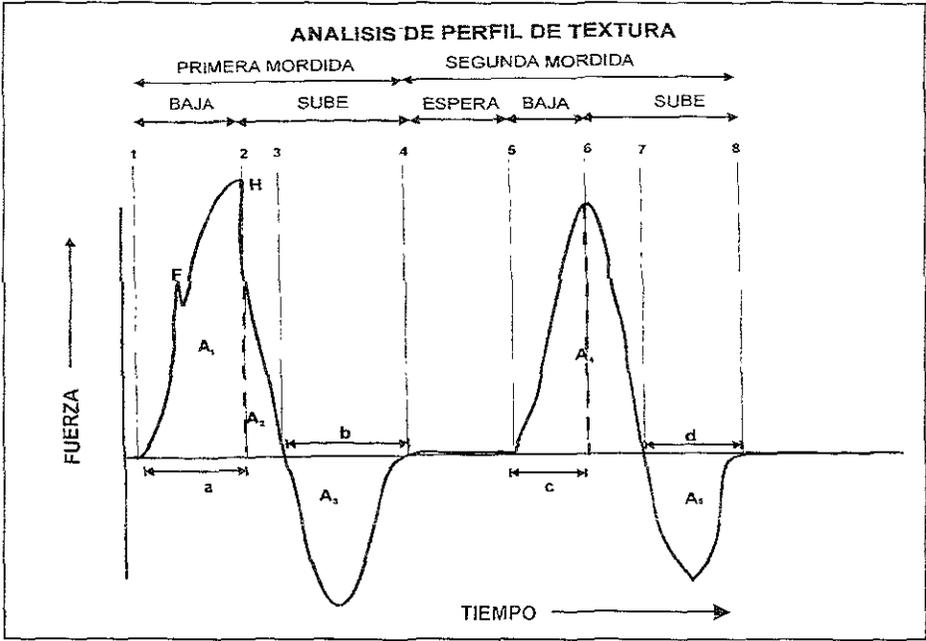


Figura 12 Representación del análisis del perfil de textura (4)

En cuanto a estas pruebas, se consideraron solamente las muestras de carne fresca (CF), contra las muestras que presentaron mayor daño estructural al ser evaluadas mediante las pruebas enzimáticas.

A los datos obtenidos de los perfiles enzimáticos (pruebas realizadas por triplicado) se les determinaron las medidas de tendencia central y de dispersión, se aplicó un ANOVA al 95% de confianza para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos

Cabe mencionar que aunque las técnicas de análisis empleadas en la determinación de enzimas, proteínas y Calcio tienen un alto grado de confiabilidad por ser técnicas analíticas automatizadas y empleadas en el diagnóstico clínico, se consideró conveniente el realizar las pruebas por triplicado, ya que al tratarse de muestras de tejido muscular, debíamos estar seguros de que el efecto o daño no haya sido provocado por el corte.

Los resultados fueron estructurados para su análisis de acuerdo a la figura 11. Correspondiente a la Planeación Experimental, considerando en primer caso al perfil de referencia el cual fue la carne fresca y sus jugos. Para definir el perfil enzimático útil, fue necesario seleccionar la solución extractora, que nos permitiera obtener datos confiables para la cuantificación de proteínas, AST, ALT y calcio total; la solución seleccionada fue PBS 0.05M (pH 7.0), ya que para PBS 0.5M se observaba precipitación probablemente de fosfatos, y los valores obtenidos salían del límite máximo establecido por el equipo; y en cuanto a H<sub>2</sub>O, los resultados en algunas determinaciones no resultaban ser confiables.

En el cuadro No. 3, se muestran los resultados correspondientes a esta determinación, indicándose una diferencia en el contenido de proteína de 0.0098 g/ml en exudado y 0.0034 para carne fresca, una variación en ALT en U/L del orden de 23 % del total en ambos casos, mostrándose una mayor retención en carne fresca; de igual manera aunque en el sentido inverso para ALT se indica un 7.1% para carne fresca indicando un mayor desplazamiento por efecto del corte y del rigor mortis así como para enzimas intracelulares se presenta una mayor permeación de membrana durante el manejo de la carne en fresco. Para calcio se presenta un contenido ligeramente inferior para el exudado como efecto natural del proceso metabólico.

| PROTEINA g/ml          |                    |       |                   |       |        |                     |        |                    |        |
|------------------------|--------------------|-------|-------------------|-------|--------|---------------------|--------|--------------------|--------|
| CF                     | CCCCO <sub>2</sub> | CCA   | CRCO <sub>2</sub> | CRA   | JCF    | JCCCCO <sub>2</sub> | JCCA   | JCRCO <sub>2</sub> | JCRA   |
| 0.0034                 | 0.0002             | 0.002 | 0.0024            | 0.003 | 0.0098 | 0.0076              | 0.0142 | 0.0292             | 0.0194 |
| AST U/L                |                    |       |                   |       |        |                     |        |                    |        |
| CF                     | CCCCO <sub>2</sub> | CCA   | CRCO <sub>2</sub> | CRA   | JCF    | JCCCCO <sub>2</sub> | JCCA   | JCRCO <sub>2</sub> | JCRA   |
| 1340                   | 100                | 60    | 1600              | 2400  | 400    | 11760               | 12600  | 53600              | 17600  |
| ALT U/L                |                    |       |                   |       |        |                     |        |                    |        |
| CF                     | CCCCO <sub>2</sub> | CCA   | CRCO <sub>2</sub> | CRA   | JCF    | JCCCCO <sub>2</sub> | JCCA   | JCRCO <sub>2</sub> | JCRA   |
| 260                    | 60                 | 60    | 500               | 500   | 3400   | 2300                | 2380   | 13100              | 13280  |
| CA <sup>++</sup> mg/ml |                    |       |                   |       |        |                     |        |                    |        |
| CF                     | CCCCO <sub>2</sub> | CCA   | CRCO <sub>2</sub> | CRA   | JCF    | JCCCCO <sub>2</sub> | JCCA   | JCRCO <sub>2</sub> | JCRA   |
| 0.006                  | 0.002              | 0.014 | 0.038             | 0.024 | 0.002  | 0.008               | 0.012  | 0.044              | 0.038  |

|                    |                                       |                     |   |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------|---|
| CF                 | Carne fresca                          | JCF                 | Jugo de carne fresca                          |
| CCCCO <sub>2</sub> | Carne congelada con CO <sub>2</sub>   | JCCCCO <sub>2</sub> | Jugo de carne congelada con CO <sub>2</sub>   |
| CCA                | Carne congelada con aire              | JCCA                | Jugo de carne congelada con aire              |
| CRCO <sub>2</sub>  | Carne recongelada con CO <sub>2</sub> | JCRCO <sub>2</sub>  | Jugo de carne recongelada con CO <sub>2</sub> |
| CRA                | Carne recongelada con aire            | JCRA                | Judo de carne recongelada con aire            |

Cuadro No. 3 Resultados promedio de la cuantificación de proteínas, enzimas y Calcio

Desde el punto de vista del efecto del método de congelación empleado, se observa para carne congelada con aire (CCA) un contenido mayor 0.0142g/ml en exudados que en carne fresca (CF), y consecuentemente una disminución en el contenido de proteína en la carne, de igual forma el contenido de proteína en carne disminuye y en los jugos correspondientes aumenta, mientras menor sea la velocidad de congelación, con tendencia similar para la recongelación.

En todos los casos, al aplicar el Análisis de Varianza se encontró que entre las comparaciones de los tratamientos se tenían diferencias altamente significativas (99% de confianza), queriendo decir que en promedio todos los tratamientos se consideran estadísticamente diferentes. como lo muestra la figura N° 13.

Para el caso de ALT y AST, la tendencia es similar que en el caso anterior al observar mayor cantidad de enzimas en los exudados que en muestras de carne y que esta cantidad no guarda proporción con la velocidad de congelación. Para el caso particular del jugo de carne recongelada con  $CO_2$  (JCR $CO_2$ ), se presenta tanto para proteínas como para AST la existencia de un mayor contenido de enzima en la recongelación con  $CO_2$  que en la recongelación con aire, esto debido probablemente a que en el caso de  $CO_2$ , aunque la velocidad de formación de cristales es mayor que con aire, y que la formación de cristales es intra celular, al momento de la descongelación previa a la recongelación, exista una modificación en la permeabilidad de la membrana, daño que sumado al efecto de reproceso por recongelación pudiera ser el que se observa en la figura 14.

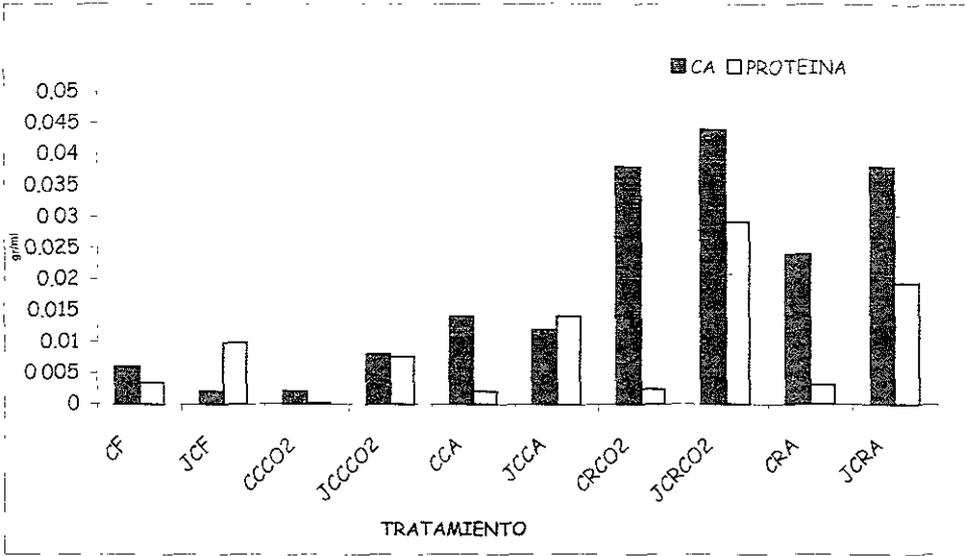


Figura 13. Comparativo de resultados obtenidos para proteína y Calcio

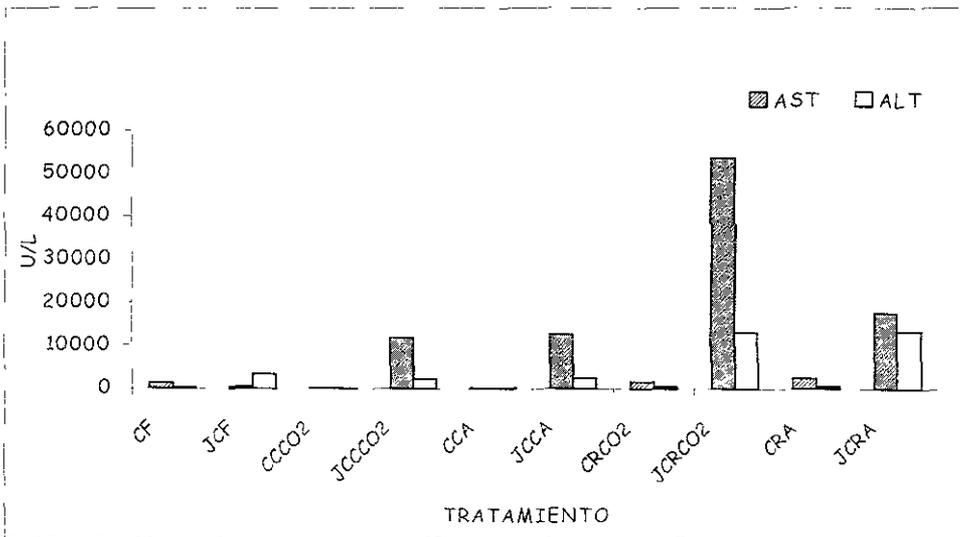


Figura 14 Comparativo de resultados obtenidos para AST y ALT

En los resultados obtenidos en el presente estudio, no se detecta un efecto significativo en la aplicación de los dos métodos de congelación por ende en la velocidad de eliminación de calor y de formación de cristales, estando de acuerdo con lo descrito por Gruda Z., Postolski J., 1986, sin embargo, es considerable la diferencia presentada entre carne fresca y procesada en relación con los exudados resultantes, en principio debido a dos posibles fenómenos presentes: el primero relacionado con la nucleación y el crecimiento de los pequeños cristales a nivel intracelular que durante la fusión de los mismos en descongelación permiten incrementar la difusión y permeabilidad de solutos hacia el exterior de las células y el segundo, relacionado a la influencia de la recristalización durante la congelación lenta, aunado al crecimiento de cristales extracelulares en mayor tamaño con efecto en la estructura celular que permite el libre desplazamiento de solutos al exterior del producto durante el proceso y posteriormente en la descongelación.

Con respecto a los cambios de concentraciones inter y extracelular así como del acomodo estructural que se presenta, se está de acuerdo con lo escrito por Cox P.M., 1987, Mallet, 1993, Bevilacqua a. E., Zaritzky N. E., 1982, quienes plantean que el fenómeno de la congelación se rige principalmente por estos cambios, pero que el daño y deterioro celular es menor que el que establece en la mayoría de las referencias bibliográficas consultada,

relacionado a la velocidad de remoción de calor y el cambio de fase.

Para el caso de los perfiles texturales (Cuadro No. 4), se puede decir que existen diferencias en el comportamiento de los cuatro parámetros estudiados. (Figura 15a y b)

| Tratamiento       | Dureza Kg | Cohesividad Kg.mm | Indice de elasticidad mm | Masticabilidad Kg.mm |
|-------------------|-----------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| CF                | 1.222     | 0.4747            | 1.037                    | 0.6022               |
| CCCO <sub>2</sub> | 0.3588    | 0.2483            | 0.9990                   | 0.0889               |
| CRCO <sub>2</sub> | 0.3588    | 0.2051            | 0.2476                   | 0.0182               |

Cuadro No. 4 Resultados comparativos del perfil de textura

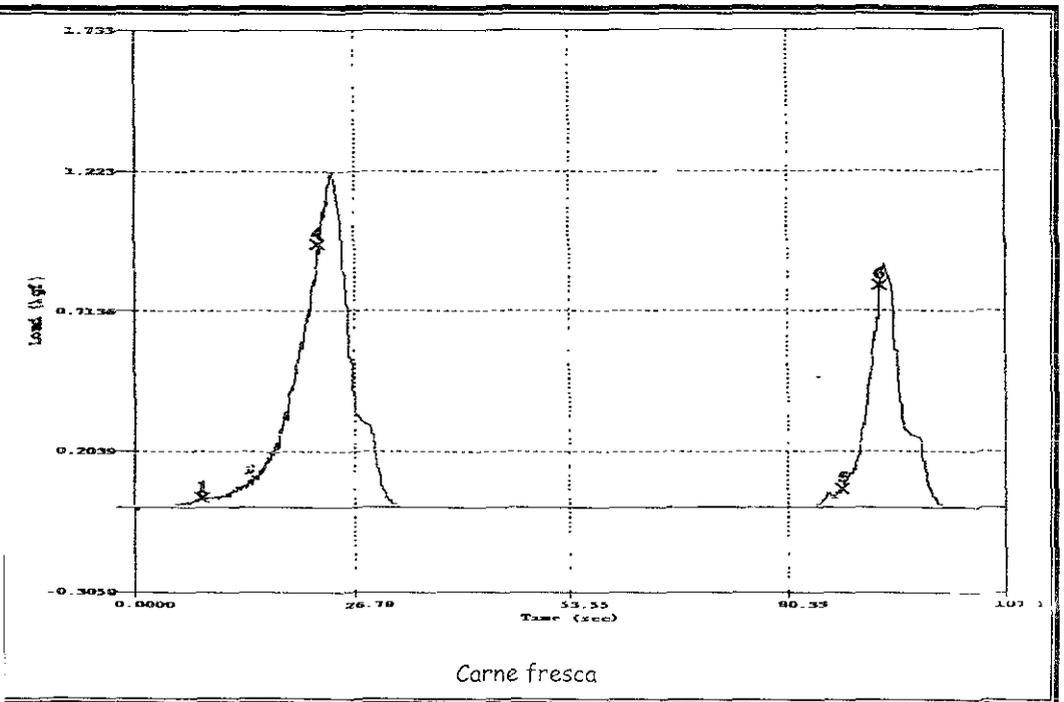
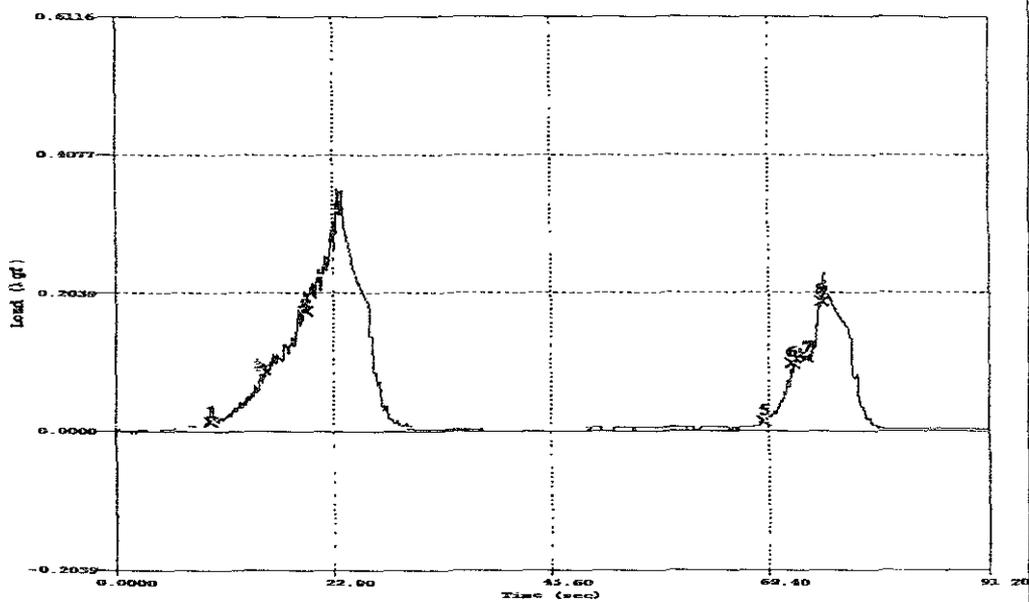
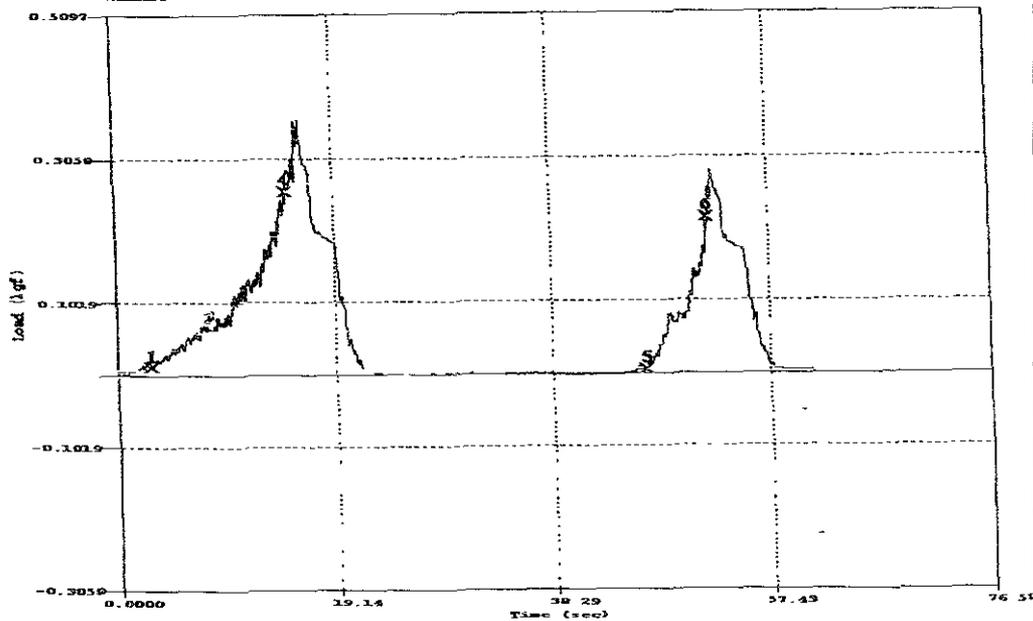


Figura 15a Gráfico del perfil de textura



Carne congelada con CO<sub>2</sub>



Carne recongelada con CO<sub>2</sub>

Figura 15b Gráficos del perfil de textura

En cuanto a los resultados obtenidos para estas pruebas, pudimos observar una dureza aproximadamente de 71% menor tanto para  $CCCO_2$  como para  $CRCO_2$  con respecto a CF. Para el parámetro de cohesividad, observamos una diferencia del 57% menor para  $CRCO_2$  con respecto a CF, y del 48% menor para  $CCCO_2$ . En cuanto a elasticidad una diferencia del 76% para  $CRCO_2$  con respecto a CF, y del 4% menor para  $CCCO_2$ . En donde se observaron los cambios más significativos fue en el parámetro de masticabilidad, donde observamos una diferencia del 97% menor para  $CRCO_2$  con respecto a CF, y del 85% menor para  $CCCO_2$ .

Para el parámetro de dureza, no se encontraron diferencias entre la congelación y la recongelación.

Con respecto al efecto que tiene la aplicación del cambio de fase a bajas temperaturas en las propiedades texturales de la carne de cerdo, se demuestra que el efecto de la congelación independientemente de la velocidad de remoción de calor aplicada, afecta inicialmente, al comparar con la carne fresca, sobre la dureza (disminución del 71%); sin embargo en durante la recongelación, el parámetro de elasticidad presenta un mayor deterioro (76%). En la masticabilidad se presenta el mayor deterioro (85%) en la congelación y un aumento en este (97% total) durante la recongelación

## CONCLUSIONES

- La solución extractora más adecuada para determinar el perfil enzimático fue la de PBS 0,05M a pH de 7,0, manteniendo constante el tamaño de muestra, la velocidad de agitación y el tiempo.
- En la determinación del tratamiento que propició el mayor daño estructural, se puede puntualizar lo siguiente:
  - ♦ No se detectó un efecto significativo entre la aplicación de los dos métodos de congelación (aire-convección natural,  $CO_2$ -conducción), pero sí entre ambos métodos en la recongelación.
  - ♦ El método de congelación que produjo mayor daño a nivel estructural fue la recongelación con  $CO_2$ .
- Durante la descongelación se producen modificaciones en la concentración de solutos dentro y fuera de la célula, así como cambio de permeabilidad en la membrana de la misma; en especial cuando la formación de cristales es intracelular como en el caso del tratamiento con  $CO_2$ .
- En cuanto a las pruebas texturales de la muestra que presentó mayor daño ( $CO_2$ ), el parámetro en donde se presenta el mayor deterioro es en masticabilidad (85%) en la congelación y un 97% durante la recongelación.

1. Badui S. (1993), "Química de los alimentos", Ed. Alhambra mexicana, tercera edición, pp 150, 191-195; México.
2. Bevilacqua A.E., Zaritzky N.E., (1982), "Ice recrystallization in frozen beef"; *Journal of Food Science.*, Vol. 47.
3. Carrington A.K., Goff H.D. y Stanley D.W., (1996), "Structure and stability of the glassy state in the rapid and slowly cooled carbohydrates solutions", *Food Research International*. Vol 29, No. 2.
4. Casas A. N., Ramírez O., (1998), "Evaluación de la textura de materiales con máquina universal de deformación", Manual Departamento de Ingeniería y Tecnología; FES-Cuautitlán (UNAM)
5. Cheftel J.C, Cheftel H. (1976), "Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos", Ed. Acribia, pp 65-72; España.
6. Chen C.S. (1) (1985).,"Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: ice content and Mollier diagram", *Journal of Food Science.*, Vol. 50.
7. Chen C.S. (2) (1985).,"Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: Enthalpy and apparent specific heat", *Journal of Food Science.*, Vol 50
8. Cleland A.C., (1990), "Food refrigeration processes analysis, design and simulation". Elsevier applied science., USA.
9. Collin D., (1977) " La carne y el frío. Producción, transformación y comercialización". Ed. Paraninfo., Madrid, España.

10. Cox M. P. (1978), " Ultracongelación de alimentos, guía de la teoría y práctica", Ed. Acribia, S.A., Zaragoza, España.
11. Desrosier N.W (1983), "Elementos de tecnología de alimentos", Ed. CECSA, pp 330-335, México.
12. Flores J, Bermell S. (1984), "Propiedades funcionales de las proteínas miofibrilares: capacidad de retención de agua". Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos; 24 (2)
13. Flores J, Bermell S. (1985), "Capacidad de emulsión de las proteínas miofibrilares". Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos; 25 (4)
14. Flores J, Bermell S. (1986), "Capacidad de gelificación de las proteínas miofibrilares". Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos; 26 (3)
15. Flores J, Bermell S. (1988), "Colágeno: Características y propiedades de interés para la industria cárnica". Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos; 28 (4)
16. Forrest J. C. (1979), "Fundamentos de ciencia de la carne", Ed. Acribia, pp 108-121, 223-246; Zaragoza, España
17. Gruda Z., Postolski J., (1986), "Tecnología de la congelación de los alimentos", Ed. Acribia, S.A., Zaragoza, España.
18. Hardman., (1978), McKay J.E. in Chapter 5 of "Water and Food Quality", Edited by Thelma M., Elsevier Applied Science, London.

- 19.Hershoko V., Nussinovitch A., (1996), "Relationships between edible coatings and garlic skin", *Journal of Food Science.*, Vol. 61, No. 4
- 20.Instituto Internacional del Frío (1990), "Alimentos congelados, procesado y distribución", Ed. Acribia, S.A., Zaragoza, España.
- 21.Jasso S.A.L., (1998), "Evaluación del tipo de proteínas presentes en embutidos comerciales tipo jamón cocido expendidos en la Cd. de México, mediante patrones electroforéticos en geles de poliacrilamida": Tesis, FES-Cuautitlán, UNAM., México.
- 22.Jeremiah L. E. (1996), " Freezing effects on food quality" Chapter 2: Red meats; edited by Lester E. Jeremiah pp 51-84; USA.
- 23.Kijoski J.M., Mast M.G., (1988), "Thermal properties of proteins in chicken boiler tissues"., *Journal of Food Science.*, Vol. 53, No. 2.
- 24.Kirk R.S., Sawyer R., Egan H. (1996), " Composición y análisis de alimentos de Pearson", Ed. CECSA, Segunda edición, pp 517 - 520; México.
- 25.Knipe C.L., (1995),"Improving fresh pork shelf-life", *Meat and Poultry*, Septiembre.
- 26.Lawrie R. A. (1988), " Developments in Meat science- 4/Development series ", Elsevier applied science., London.
- 27.Lawrie R. A. (1979), " Meat science", 3<sup>th</sup> Edition; Ed. Pergamon press; pp 75-85, 216-240, U.K.

- 28.Mallet C.P., (1993), Reid D.S. in "Frozen Food Technology"; Blakie Academic Professional, 1<sup>st</sup>. ED., UK.
- 29.Mallet C.P., (1993), Marsden J.L., Henrickson R.L. in "Frozen Food Technology". Blakie Academic Professional, 1<sup>st</sup>. ED., UK.
- 30.Martino M. N., Zaritzki N. E.(1988) "Ice crystal size modifications during frozen beef storage", Journal of Food Science., Vol. 53, No. 6
- 31.Meléndez H.E., González de Buitargo J.M., (1979), "Macromoléculas. Estructura y función", Ed. Finn World; Alhambra; España.
- 32.Mendoza E., Quiróz M., Pacheco O. (1998), "Introducción a la tecnología de alimentos" Academia del área de plantas piloto de alimentos. Parte III, Ed. Limusa, pp 67-71; México.
- 33.Ochoa M. O., Munguía M. M. (1998), " Análisis de límite de ruptura en carne de cerdo a bajas temperaturas". Tesis, FES-Cuautitlán, UNAM., México.
- 34.Preston T.R., Willis M. B., (1974), "Calidad de la canal, aspecto atractivo", producción intensiva de carne., Ed. Diana., pp 93-119., México.
- 35.Scott E.P., Becker J.V. y Heldman D.R., (1992) "Estimation of time variable heat transfer coefficients in frozen foods during storage", Journal of Food Engineering., No. 15.
- 36.SECOFI, (2000), "Guías Empresariales; Embutidos", Ed. Limusa, Grupo Noriega Editores., México.

37. Shewfelt R. L., Erickson M.C., Hung Y.C., y Malundo T.M.M. (1997), "Applying Quality Concepts in Frozen Food Development"., Food Technology Vol.51, No. 2, Febrero.
38. Singh R.P., Heldman D.R., (1997), "Introducción a la ingeniería de los alimentos"., Ed. Acribia, S.A., Zaragoza, España.

- **Anexo 1**

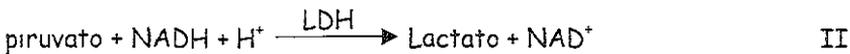
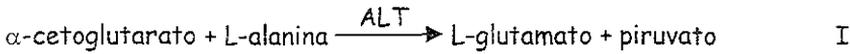
Diagnostic Chemicals Limited

## **Alanina aminotransferasa (ALT)**

ANTECEDENTES: Henley y Pollard así como Wroblewski y Ladue desarrollaron procedimientos cinéticos para el ensayo de la alanina aminotransferasa, anteriormente llamada glutamato de piruvato transaminasa. Los procedimientos estuvieron basados en la oxidación de NADH a través del lactato de deshidrogenasa (LDH). Este procedimiento incorpora modificaciones significativas, incluyendo la optimización de concentraciones de sustrato y el reemplazo de fosfato utilizando tris(hidroximetil aminometano) como solución reguladora (buffer). Estas modificaciones cumplen con las recomendaciones señaladas por la Federación Internacional de Química Clínica [International Federation Of Clinical Chemistry (IFCC)] para determinaciones ALT.

Altos niveles de alanina aminotransferasa son el resultado de un infarto al miocardio o de un trastorno hepático. A un grado menor, los altos niveles son indicativos de enfermedades de algunos órganos internos.

PRINCIPIO: El ALT cataliza la conversión de L-alanina con el  $\alpha$ -cetoglutarato a piruvato y a L-glutamato. En la reacción II, la LDH cataliza la oxidación del NADH a NAD.



El índice de reducción en absorbancia de la mezcla de la reacción a 340nm, debido a la oxidación de NADH es directamente proporcional a la actividad ALT.

ANALISIS: Las pruebas se realizaron en un equipo autoanalizador de química clínica Express 550® CIBA-CORNING

CALCULO Y RESULTADOS:

Resultados: La actividad del ALT está expresada en U/L.

Cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Alanina Aminotransferasa U/L} &= \frac{\Delta A/\text{min} \times \text{volumen del ensayo (mL)} \times 1000}{5.22 \times \text{paso de luz (cm)} \times \text{volumen de la muestra (mL)}} \\ &= \Delta A/\text{min} \times 2572 \end{aligned}$$

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| $\Delta A/\text{min}$ | = | cambio de absorbancia por minuto                      |
| Volumen de ensayo     | = | Volumen de la reacción total expresado en mL          |
| 1000                  | = | Convierte de U/mL a U/L                               |
| 6.22                  | = | Coeficiente de absorbancia de NADH a 340nm            |
| Paso de luz           | = | Largo de paso de luz expresado en cm (usualmente 1.0) |
| Volumen de muestra    | = | Volumen de muestra expresado en mL                    |
| 2572                  | = | Factor derivado de las constantes en la ecuación      |

- Anexo 2

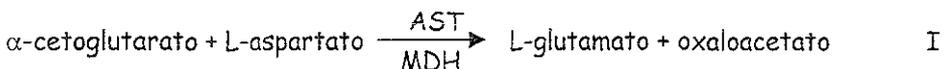
Diagnostic Chemicals Limited

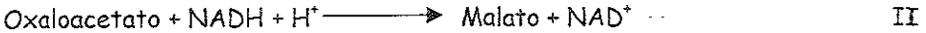
## Aspartato aminotransferasa (AST)

ANTECEDENTES: Karman, introdujo un método para la determinación de aspartato aminotransferasa, anteriormente llamado glutamatooxalacético transaminasa (GOT). El procedimiento utilizado en este ensayo incorpora algunas modificaciones significativas, incluyendo la optimización de concentraciones de sustrato y el reemplazo de fosfato utilizando tris(hidroximetil aminometano) como solución reguladora (buffer). Estas modificaciones cumplen con las recomendaciones señaladas por la Federación Internacional de Química Clínica para determinaciones de AST.

Altos niveles de aspartato aminotransferasa son el resultado de un infarto al miocardio o de un trastorno hepático. A un grado menor, los altos niveles son significativos de enfermedades de algunos órganos internos.

PRINCIPIO: El AST cataliza la reacción del  $\alpha$ -cetoglutarato con el L-aspartato a L-glutamato y oxaloacetato. En la reacción II, la deshidrogenasa málica (MDH) cataliza la oxidación del NADH a NAD.





El índice de reducción en absorbancia de la mezcla de la reacción a 340nm, debido a la oxidación de NADH es directamente proporcional a la actividad AST.

ANALISIS: Las pruebas se realizaron en un equipo autoanalizador de química clínica Express 550® CIBA-CORNING

CALCULO Y RESULTADOS:

Resultados: La actividad del AST está expresada en U/L.

Cálculo:

$$\text{Aspartato Aminotransferasa U/L} = \frac{\Delta A/\text{min} \times \text{volumen del ensayo (mL)} \times 1000}{6.22 \times \text{paso de luz (cm)} \times \text{volumen de la muestra (mL)}} = \Delta A/\text{min} \times 2572$$

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| ΔA/min             | = | cambio de absorbancia por minuto                      |
| Volumen de ensayo  | = | Volumen de la reacción total expresado en mL          |
| 1000               | = | Convierte de U/mL a U/L                               |
| 6.22               | = | Coefficiente de absorbancia de NADH a 340nm           |
| Paso de luz        | = | Largo de paso de luz expresado en cm (usualmente 1.0) |
| Volumen de muestra | = | Volumen de muestra expresado en mL                    |
| 2572               | = | Factor derivado de las constantes en la ecuación      |