



10
2ej.
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**ANALISIS DEL LIMITE DE RUPTURA EN CARNE DE
CERDO A BAJAS TEMPERATURAS.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A N :
MIRIAM MUNGUIA MURILLO
OCTAVIO ENRIQUE OCHOA MENDIETA**

ASESOR: I.A. ALFREDO ALVAREZ CARDENAS

COASESORA: I.A. ROSALIA MELENDEZ PEREZ

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO.

1998.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

264590



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEXICO

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

ATN: 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 el Trabajo de:

Análisis del límite de ruptura en carne de cerdo a bajas temperaturas.

que presenta la pasante: Miriam Munguía Murillo
con número de cuenta: 8805717-6 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo 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 7 de Mayo de 1998

PRESIDENTE	<u>I.Q. Alvaro Leo Ramírez</u>	
VOCAL	<u>I.B.Q. Fernando Beristain</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Dr. José Luis Arjona Román</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.A. Laura M. Cortazar Figueroa</u>	



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

ATN: 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 el Trabajo de:

Análisis del límite de ruptura en carne de cerdo a bajas temperaturas.

que presenta el pasante: Octavio Enrique Ochoa Mendieta
con número de cuenta: 9352623-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos

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

A T E N T A M E N T E.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 7 de Mayo de 199 8.

PRESIDENTE

I.Q. Alvaro Leo Ramírez

VOCAL

I.B.Q. Fernando Beristain

SECRETARIO

I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas

PRIMER SUPLENTE

Dr. José Luis Arjona Román

SEGUNDO SUPLENTE

I.A. Laura M. Cortazar Figueroa

A MIS PAPAS:

MARIO Y CAROLINA

Gracias por todo su apoyo a lo largo de esta formación profesional, les agradezco el impulso y la paciencia, sin ustedes esto no hubiera sido posible, espero que siempre estén en los momentos más importantes de mi vida, como éste. Que lo disfruten, va por ustedes. Los quiero muchísimo.



A MI HERMANO:

MARIO

Gracias por hacerme perder más la paciencia, para eso son los hermanos, te agradezco el apoyo durante toda la vida. Te quiero. 😊

A MIS ABUELITAS:

BEATRIZ Y LORENZA

Gracias por la familia que me dieron, éste trabajo es para ustedes también, espero que estén orgullosas. Con cariño. 🌸

A TAVO:

Gracias por la amistad, cariño, paciencia (que fue mucha) y sobre todo gracias por el apoyo para realizar éste trabajo, nuestro trabajo. Te amo. 

Sobre todo Gracias a Dios.

Con cariño Miriam.

A mis papás: Francisco y Esther

Esta tesis se las dedico con mucho cariño y amor, por todo su esfuerzo, sus desvelos y dedicación para conmigo, al igual que su amor hacia mí. ¡Gracias de todo corazón!

A mis hermanos: Paco y Claudia

Les doy las gracias por acompañarme hasta estas alturas de mí vida por sus consejos y su amistad.

A ti Miriam:

Te agradezco por ésta convivencia tan maravillosa y por tu amistad, cariño y amor que me brindas. Gracias por la realización conjunta de ésta tesis. Güereja: ¡Siempre estaré contigo!

A todas aquellas personas que han contribuido con su amistad y consejos para llegar hasta aquí, ¡gracias!

Con cariño TAVO.

A ALFREDO ALVAREZ CARDENAS

Agradecemos el aporte de tus conocimientos y tu apoyo para la realización de éste trabajo, y por la amistad que nos brindaste durante todo éste tiempo.

A ROSALIA MELENDEZ PEREZ

Gracias por el aporte tanto intelectual como material para realizar éste trabajo. Te agradecemos el apoyo, la confianza y la amistad que nos has brindado.

CON CARIÑO:
TAVO Y MIRIAM.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

TESIS:

**ANALISIS DEL LIMITE DE RUPTURA EN CARNE DE CERDO
A BAJAS TEMPERATURAS.**

TESISTAS:

MIRIAM MUNGUA MURILLO

OCTAVIO ENRIQUE OCHOA MENDIETA

ASESOR:

I.A. ALFREDO ALVAREZ CARDENAS

COASESORA:

I.A. ROSALIA MELENDEZ PEREZ

CUAUTITLAN IZCALLI; EDO. DE MEXICO

INDICE

<i>CONTENIDO</i>	<i>PAGINA</i>
INTRODUCCIÓN	I
I ANTECEDENTES	1
1.1 Congelación de alimentos	2
1.2 Velocidad de congelación	3
1.3 Métodos de congelación	13
1.4 Carne	33
1.5 Congelación de la carne	38
1.6 Efecto de la descongelación	40
1.7 Desjuge	42
1.8 Pruebas texturales	44
II PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL	50
2.1 Selección de variables	53
2.2 Desarrollo metodológico	55
2.3 Técnicas de control	69
III ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
3.1 Actividades previas	76
3.2 Velocidad de congelación	80
3.3 Límite de ruptura y % de exudados	91
Conclusiones y Recomendaciones	105
Referencias bibliográficas	109
Anexo A	114

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Velocidades de congelación	6
Cuadro 2. Métodos de congelación	14
Cuadro 3. Propiedades físicas del CO ₂	22
Cuadro 4. Propiedades físicas del Nitrógeno	26
Cuadro 5. Comparación entre N ₂ y CO ₂	30
Cuadro 6. Comparación entre N ₂ y frío mecánico	32
Cuadro 7. Componentes principales de la carne	36
Cuadro 8. Variables que influyen en la velocidad de congelación	57
Cuadro 9. Variables que influyen en el estudio de límite de ruptura por compresión	60
Cuadro 10. Variables que influyen en el estudio de límite de ruptura por impacto	60
Cuadro 11. Variables implicadas en el estudio del % de exudados	62
Cuadro 12. Niveles de variación	64
Cuadro 13. Arreglo ortogonal L ₁₆ para la realización de experimentos	68
Cuadro 14. Datos de la composición de la carne de cerdo	76
Cuadro 15. Velocidades de congelación en carne de cerdo con CO ₂	87
Cuadro 16. Velocidades de congelación en carne de cerdo con N ₂	89
Cuadro 17. Variables de respuesta obtenidas de los estudios de compresión e impacto con sus respectivos % de exudados	92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la temperatura en la zona crítica	4
Figura 2. Zonas de congelación de un alimento	5
Figura 3. Evolución de la temperatura durante la congelación	9
Figura 4. Efecto de la congelación lenta sobre un alimento	11
Figura 5. Efecto de la congelación rápida sobre un alimento	12
Figura 6. Esquema del músculo y sus componentes	36
Figura 7. Representación esquemática de la estructura de la fibra muscular	38
Figura 8. Diagrama del alargamiento de alimentos	46
Figura 9. Principio de compresión	48
Figura 10. Diagrama causa-efecto	53A
Figura 11. Cuadro metodológico	55B
Figura 12. Acomodo de placas empleado para la congelación con CO ₂	58
Figura 13. Esquema del equipo empleado en la prueba de impacto	62
Figura 14. Representación de las variables y sus interacciones	67
Figura 15. Muestra de la carne como se dividió en 3 zonas	77
Figura 16. Gráfica obtenida de la historias térmicas de la carne de cerdo	78
Figura 17. Porcentaje de contribución del límite de ruptura por compresión	93
Figura 18. Porcentaje de contribución del % de exudados en compresión	96
Figura 19. Porcentaje de contribución del límite de ruptura por impacto	100
Figura 20. Porcentaje de contribución del % de exudados en impacto	102
Gráfica 1 Velocidad de congelación	81
Gráfica 2 Velocidad de congelación	81
Gráfica 3 Velocidad de congelación	82
Gráfica 4 Velocidad de congelación	82
Gráfica 5 Velocidad de congelación	84
Gráfica 6 Velocidad de congelación	84
Gráfica 7 Velocidad de congelación	85
Gráfica 8 Velocidad de congelación	85

INTRODUCCION

La principal finalidad de la congelación de alimentos es la de conservar las características iniciales del producto como lo son: textura, color, aromas y principalmente sus componentes. Para ello existen diferentes métodos como lo son:

- Contacto directo. En los cuales la congelación se da por medio del contacto del producto con un metal enfriado por fluidos frigoríficos.
- Aire. El cual se emplea por medio de difusores en cámaras ordinarias y/o túneles de congelación.
- Medio líquido. En el cual se emplean sustancias como sacarosa, salmuera y derivados de glicoles en combinación, todos ellos, con agua.
- Líquidos criogénicos. Siendo el dióxido de carbono y el nitrógeno los más importantes, empleándose directamente al producto.

El empleo de métodos criogénicos para la congelación de alimentos no es muy común; por un lado por que presentan ciertos riesgos al manejarlos, en el caso del nitrógeno lo más común son las quemaduras en la piel y con el dióxido de carbono se presentan problemas respiratorios al trabajarse en lugares cerrados. Por otro lado también existe la creencia de que el equipo a emplear es muy costoso, lo cual no ocurre así ya que al emplarse en estado líquido ambos productos solo se necesita una red de tuberías y aspersores, reduciendo tiempos de congelación y por lo tanto aumentando la capacidad de producción.

Se buscó un uso complementario de estos métodos en algunas operaciones unitarias, en este caso después de congelado el alimento se estudiaron pruebas texturales en las cuales se emplearon la fuerza de impacto y la fuerza de compresión para obtener un estudio de límite de ruptura, para utilizar los resultados en operaciones como la molienda.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

I ANTECEDENTES

1.1 CONGELACION DE ALIMENTOS

Se considera a un alimento congelado a aquel en el que la mayor parte de agua de constitución (agua libre) se ha transformado en hielo, al ser sometido a un proceso de congelación especialmente concebido para reducir, en todo lo posible las alteraciones físicas, bioquímicas y microbiológicas, tanto durante la fase de congelación como la fase ulterior.³³

Así mismo se consideran alimentos congelados los que han sido sometidos a un proceso de congelación especialmente concebido para preservar su calidad inicial. Para obtener el efecto conservador deseado, una porción importante del agua congelable del producto debe ser transformada en hielo y mantenida en ese estado durante el almacenamiento, de manera que se reduzca lo más posible las modificaciones físicas, químicas y microbiológicas que, en caso contrario deteriorarían al producto.³⁹

Como se observa en ambas definiciones la finalidad de la congelación es la conservación de un producto no importando su composición siempre y cuando contenga agua libre para que esta pueda ser transformada en hielo.

1.2 VELOCIDAD DE CONGELACION

No es posible dar una definición satisfactoria de la velocidad de congelación por lo que se utilizan dos grupos:

El primer grupo en donde la velocidad de congelación es el cociente de la diferencia entre la temperatura inicial (T_1) y la temperatura final (T_2) por la duración de la congelación en el centro del producto en donde la velocidad de congelación es más lenta. En este concepto se manejan unidades de temperatura y tiempo ($^{\circ}\text{C/hr}$).³⁹

En este grupo la zona en donde se da la mayor parte de la cristalización del agua del alimento está comprendida por un intervalo de temperaturas que va de -1 a -7 °C, como se muestra en la figura 1.

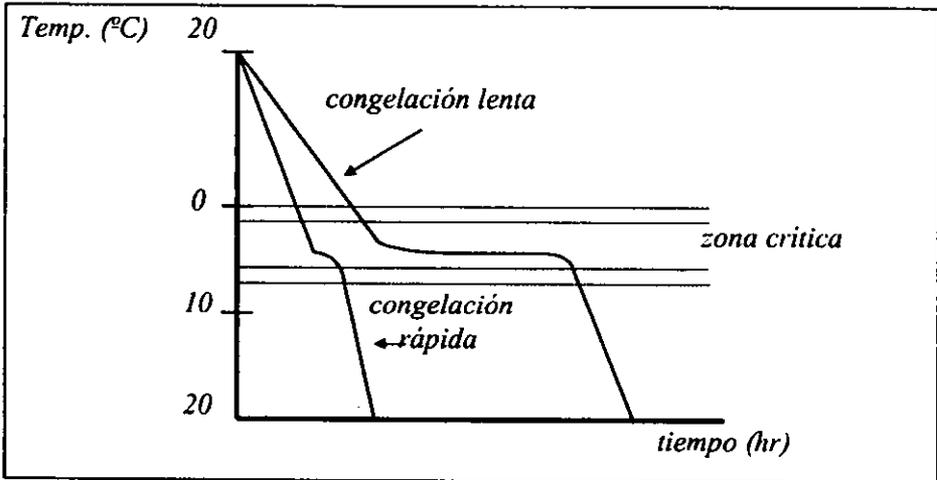


Figura 1. Evolución de la temperatura en la zona crítica.¹⁵

En ésta figura se observan dos técnicas de congelación, una es la congelación lenta y la otra la congelación rápida. Durante la congelación lenta se observa que la velocidad de congelación es más tardada, mostrándose en la gráfica por el periodo de tiempo que dura en la zona crítica, (evaluándose en este punto) lo contrario ocurre durante la congelación rápida.

En el segundo grupo la velocidad de congelación es igual a la velocidad que se desplaza el frente de hielo a través del producto por la duración de la congelación. La velocidad tiene unidades de longitud y tiempo (cm/hr).¹⁷ Este criterio solo sirve para comparar muestras del mismo tamaño. Para evaluar la velocidad de congelación, como se muestra en la figura 2, la muestra se divide en tres zonas las cuales son:

Zona 1: Centro geométrico de la muestra

Zona 2: Punto intermedio

Zona 3: Superficie de la muestra.

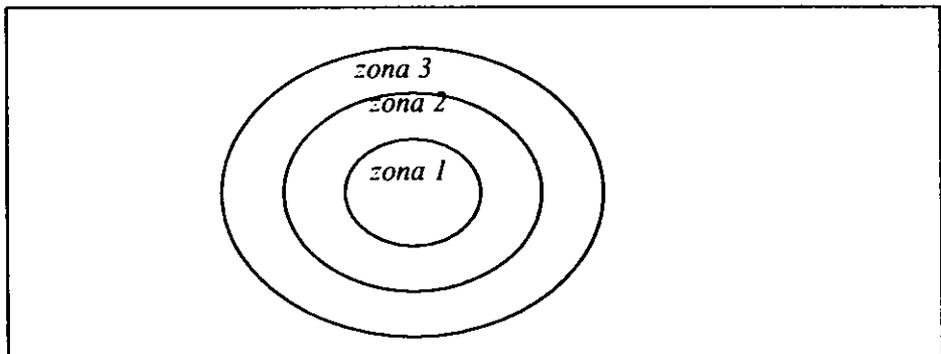


Figura 2. Zonas de congelación en un alimento.¹⁷

Las zonas 1 y 3 al inicio de la congelación sufren una caída rápida de la temperatura sin cambio de estado. En la zona 1 la totalidad del agua congelable se encuentra en forma líquida. En la zona 3 la cristalización del

agua está totalmente terminada. Por el contrario en la zona 2 es el lugar de la transformación del agua en hielo.¹⁷

Después de dar la definición de velocidad de congelación y su forma de evaluación, se tiene que ésta puede tener valores ya sea muy grandes o muy pequeños, para lo cual es necesario nombrar las tres aplicaciones que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Velocidades de congelación.^{10, 15}

Velocidad de congelación	Velocidad de descenso de temp.	Instalaciones
Lenta	$\leq 2^{\circ}\text{C}/\text{min}$	Congelador doméstico (aire inmóvil -18°C)
Rápida	$10 - 100^{\circ}\text{C}/\text{min}$	Túneles de aire frío (aire circulando -40°C)
Ultrarápida	$1000 - 10000^{\circ}\text{C}/\text{min}$	Baño de isopentano enfriado por N_2

Las aplicaciones de la congelación son: A) Lenta. La cual se da con instalaciones de aire inmóvil presentando coeficientes de transferencia de calor bajos. B) Rápida. Que se da en túneles de aire frío que se encuentra circulando y C) Ultrarápida. Maneja fluidos criogénicos y la velocidad del descenso de temperaturas es muy elevada.

Durante la etapa en la cual se mide la velocidad de congelación hay un cambio de estado de líquido a sólido llamado cristalización: Este cambio de estado consta de varias etapas iniciando por la nucleación, es decir, tiene que existir un núcleo de moléculas de agua para que se pueda formar un cristal de hielo.

Existen dos tipos de nucleación:

- a) la homogénea: en donde se da una orientación al azar de moléculas de agua.
- b) la heterogénea: se presenta la formación del núcleo sobre partículas en suspensión o sobre la pared celular.

En alimentos la nucleación que más se presenta es la heterogénea por lo que la sobrefusión es relativamente breve. La eliminación de calor rápidamente da lugar a la formación de un gran número de núcleos. Por lo que una congelación rápida presenta la formación de un gran número de gérmenes.

Después de la nucleación se continua con el crecimiento de cristales de hielo que se da una vez que las moléculas de agua emigran hacia un germen ya

existente; esto se puede lograr próximo al punto de congelación, ya que los primeros cristales comienzan a aparecer a -1°C aproximadamente, en algunos alimentos.

Para una composición dada, existe una relación entre el contenido del hielo y la temperatura, ya que a -7°C se cristaliza un 80% del agua congelable y a -18°C esta proporción se eleva a un 99%.¹⁷

En alimentos, la velocidad a la que se da el crecimiento de los cristales depende de la velocidad de eliminación de calor, o lo que es lo mismo, la diferencia de temperatura entre el cristal y el medio que lo rodea. Debido a que la congelación consta de varias etapas en las cuales la temperatura evoluciona y proporciona cambios en el estado físico del agua se presenta la figura 3.

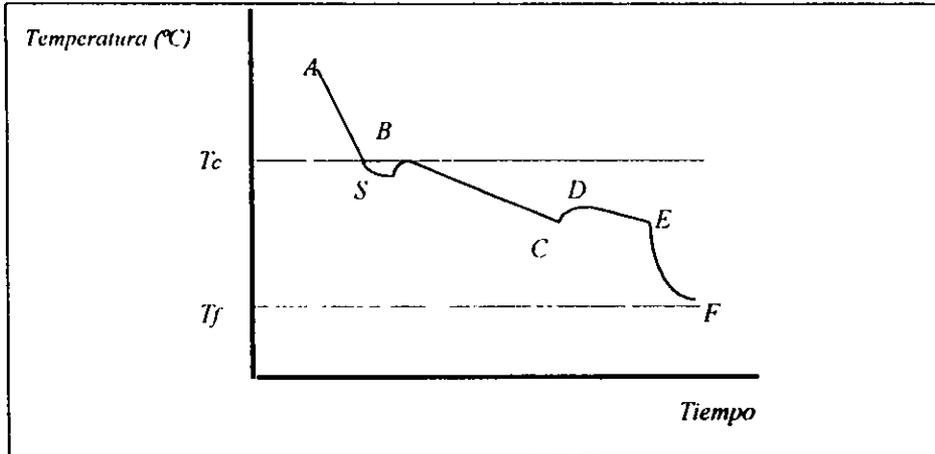


Figura 3. Evolución de la temperatura durante la congelación.¹⁵

Esta curva se explica de la siguiente manera:

AS: Se da un sobreenfriamiento, ya que en el punto S el agua permanece en estado líquido a pesar de que el alimento se enfría por abajo de su punto inicial de congelación T_c , el cual es inferior a 0°C , iniciándose la nucleación.

SB: Se forman los cristales de hielo, liberándose calor latente de congelación a una velocidad mayor a la que éste se extrae del alimento. La temperatura sube rápidamente a la temperatura del punto inicial de congelación T_c .

BC: Se elimina calor latente y se forma la mayor parte de hielo, se da un incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada y se da un ligero descenso de la temperatura.

CD: Uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza, por lo tanto, se libera calor latente de cristalización y aumenta la temperatura hasta la temperatura eutéctica del soluto.

DE: Continúa la cristalización del agua y solutos.

EF: La temperatura de la mezcla de hielo y agua desciende hasta la temperatura final T_f ^{15, 17}

Los núcleos cristalinos, en donde se da el crecimiento de cristales de hielo están a temperatura de hielo-solución, ya que están en una zona subrefrigerada, mientras que la parte prominente de los cristales se encuentra en una zona de mayor subrefrigeración por lo que el crecimiento es más rápido.

Una vez que se da la formación y el crecimiento de cristales de hielo, el tamaño final de éstos depende de la rapidez con que se evacue el calor y el número de gérmenes cristalinos formados en el medio líquido del alimento.

Cuando la nucleación se da a bajas temperaturas, ésta se da rápidamente por lo que los gérmenes dan origen a muchos cristales de pequeño tamaño; cuando se da a temperaturas próximas al punto de fusión, la nucleación es lenta, por lo tanto son pocos gérmenes lo que da como resultado cristales grandes.

Como se muestra en la figura 4, cuando se da una congelación lenta se forman cristales alargados en forma de agujas, las cuales crecen en los espacios intercelulares provocando daños a las paredes celulares con las que tienen contacto.

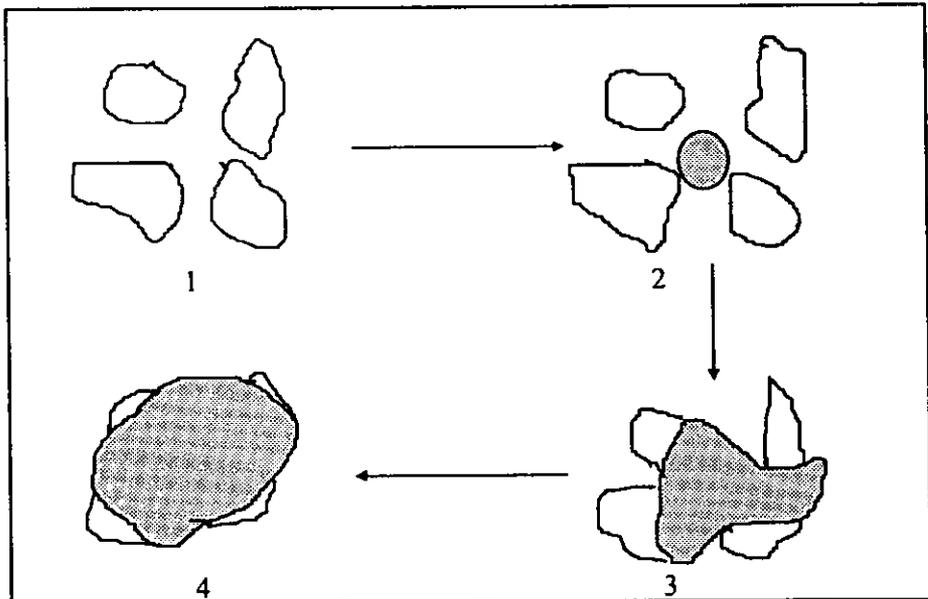


Figura 4. Efecto de la congelación lenta sobre un alimento.¹⁵

En la figura anterior se observa las células del alimento no congelado (1), seguida de la formación de núcleos de hielo al exterior de las células (2), por lo tanto el agua migra a los núcleos ya formados (3), produciendo la deformación y ruptura de las células del alimento debido al crecimiento de cristales durante la congelación lenta (4).

En la congelación rápida los cristales de hielo se forman tanto en el interior de la célula como en los espacios que hay entre dichas células, figura 5, tienen un tamaño pequeño y por esto no se daña la estructura celular de los alimentos, la forma que tienen estos cristales es redonda. Como se observa la formación de núcleos se da tanto en el interior como en el exterior de las células del alimento (1), la formación y el crecimiento de los cristales de hielo se llevan a cabo sobre los núcleos ya existentes (2).

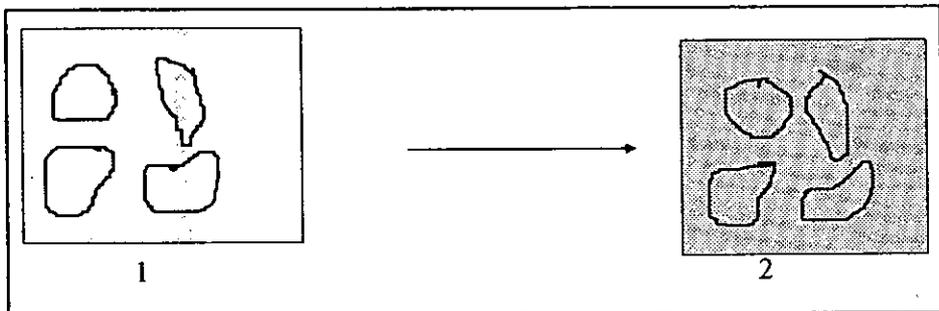


Figura 5. Efecto de la congelación rápida sobre un alimento.¹⁵

1.3 MÉTODOS DE CONGELACIÓN

La congelación de alimentos se lleva acabo por las siguientes razones:

- a) Preservar la calidad inicial y la integridad de un producto para un consumo posterior.
- b) Crear una consistencia y textura peculiar del alimento de forma que sea apetecible para el consumidor.
- c) Efectuar procesos como liofilización, concentración de zumos de frutas por separación de cristales de hielo, desacidificación del vino por formación y separación de cristales de ácido tartárico, y enfriamiento antes de la aplicación de radiaciones ionizantes para reducir los efectos no deseables.

Las temperaturas de congelación van de -10°C ,³¹ hasta -196°C ,⁷ y para llegar a estas existen diferentes métodos de congelación, en el cuadro 2 se presentan los diferentes métodos de congelación que ayudan a alcanzar estas temperaturas.

Cuadro 2. Métodos de congelación.

A) Contacto directo (metal)	- Placas horizontales - Placas verticales - Correa o banda - Tambor
B) Aire	- Cámaras ordinarias - Túneles ordinarios - Túneles de lecho fluidizado - Túneles con transportador en espiral
C) Medio líquido	- Salmuera - Sacarosa - Agua - Derivados de glicoles
D) Líquidos criogénicos	- CO ₂ - N ₂

A) CONTACTO DIRECTO

Los equipos que se describen a continuación son diseñados de acuerdo a los requerimientos del proceso y del producto, tienen diferentes capacidades y los alimentos se congelan por medio del contacto directo con el metal que es enfriado por un fluido frigorígeno.

- Placas horizontales: Se utilizan para procesar paquetes de alimentos al por menor, contenidos en cajas rectangulares. Para facilitar la carga de estos alimentos se utilizan bandejas de aluminio con dimensiones convenientes para

utilizar eficientemente el área de la placa. El congelador típico de placas horizontales contiene de 15 a 20 placas.³⁹ El producto se coloca sobre las bandejas, las cuales se cierran por medio de un sistema hidráulico manteniendo una presión de 0.07 a 0.3 kg/cm²,⁹ entre las placas y la superficie de los paquetes durante la congelación para promover un buen contacto entre cara y cara. Comúnmente se sitúan entre las placas barras de separación, una fracción más delgada que los paquetes, para prevenir que los paquetes sean estrujados si las placas no se cierran uniformemente. Las placas se descargan por el sistema hidráulico, una vez que se ha descargado completamente el ciclo vuelve a iniciar.

- Placas verticales: Se utilizan para productos en bloques de 10 a 15 kg³⁹ por lo general en pescados, carne y residuos de carne. El producto se añade directamente entre las placas verticales hasta obtener bloques que se pueden hacer más compactos mediante el cierre de las placas un poco más del límite antes de la congelación. Los bloques congelados se descargan lateralmente, por arriba o por abajo.

- Correa o banda: Están hechos para congelar capas bastante delgadas de productos líquidos o pastosos. Los productos se colocan sobre una correa simple de acero inoxidable, su espesor no sobrepasa generalmente los 15 mm. o sujetos entre dos correas, el espesor puede alcanzar los 40 mm.³⁹

- Tambor: Al igual que el congelador de correa o banda, se emplea en productos líquidos o semipastosos, la congelación puede realizarse muy rápidamente con una capa fina de producto. Se utiliza un tambor que gira en un eje horizontal, cuya parte inferior pasa por un depósito que contiene el producto a congelar, y en el interior del cual circula el fluido refrigerante. Un cuchillo raspador elimina el producto congelado bajo la forma de una película o copos, un enfriamiento suplementario endurece el producto.¹⁰

B) AIRE

Estos equipos utilizan difusores o ventiladores que inducen al aire a circular por las cámaras, los difusores emplean un fluido frigorígeno que a su vez enfría el aire de las cámaras, los fluidos más comúnmente utilizados son: NH_3 ,

R12 y R22. Estos equipos se diseñan para diferentes capacidades y pueden ser continuos y discontinuos.

- Cámaras ordinarias: Es un sistema de congelación discontinuo para producciones pequeñas, están constituidas por una cámara bien aislada provista de ventiladores los cuales producen la circulación del aire que puede ser a su vez por convección natural o forzada.³⁹ Se obtienen temperaturas de -20 a -30°C, el espesor del producto que se va congelando es de 0.2 cm.¹⁰ Normalmente el producto se carga manualmente en bandejas situadas sobre vagonetas que se sitúan dentro de la cámara. Con el fin de obtener un enfriamiento uniforme se canaliza el aire de forma que fluya equilibradamente sobre todo el producto. La duración de la congelación puede variar debido al flujo de aire o a la construcción de la cámara.

- Túneles de congelación: Este tipo de proceso es continuo, ya que se consigue una congelación rápida del orden de 3 cm/hr. En el túnel circula aire a una temperatura de -20°C a -45°C a velocidades que pueden alcanzar los 50 km/hr.¹⁰ A través del túnel se transporta el alimento por medio de vagonetas, cintas transportadoras o, en el caso de carne en canales, sobre ganchos

suspendidos de la parte superior. Se pueden instalar túneles consecutivos para que la congelación sea completa (en caso de que el producto sea muy grande, como en el caso de las canales).

- Túneles de lecho fluidizado: El producto a congelar es relativamente pequeño, de 15 cm de espesor; Están compuestos por una cámara con un fondo perforado a través del cual sopla aire verticalmente hacia arriba con una velocidad lineal superior a 6 Km./hr.¹⁰ Al añadir los productos alimenticios de tamaño uniforme como chícharos, coles de brúcelas, cerezas, fresas, etc., estos se levantan y agitan y se dice que fluidizan. La alimentación del producto se hace por un extremo de la cámara y el producto se descarga por encima de una lámina reguladora en el otro extremo, la velocidad de alimentación esta regulada de forma que el tiempo de residencia de las piezas individuales sea tal que permita una congelación adecuada.⁹ el tiempo de residencia puede variar de 6 a 15 min teniendo temperaturas de -55°C.¹⁰

- Túneles con transportador en espiral: Con éstas unidades se ha conseguido un uso económico del suelo en las fábricas, mediante la utilización de una cinta transportadora flexible de acero inoxidable enrollada en hélices

verticales.⁹ Estos congeladores pueden ser de una banda o dos superpuestas,³⁸ los productos se colocan sobre éstas permaneciendo en esa posición hasta la salida del congelador. Un tipo reciente de congelador en espiral lleva una correa que apila automáticamente los productos en el interior de un recinto cerrado con rieles de soporte; el mecanismo de arrastre es sencillo, el aire es insuflado y forzado a través de la capa de producto.

C) MEDIO LIQUIDO

La congelación de contacto directo también se emplea cuando es importante una congelación rápida, el producto puede ser inmerso de un modo directo en fluidos fríos o dicho fluido puede ser asperjado sobre el producto. Durante muchos años se han usado diversas salmueras a muy bajas temperaturas.⁷

Comúnmente se utiliza la inmersión en líquidos con bajo punto de congelación, esto se refiere a la utilización de salmueras y soluciones con sacarosa o derivados de glicoles.

- Salmuera: Es utilizada en concentración de 23% de cloruro sódico que alcanza la temperatura de -21°C ,^{10,34} en el caso de la congelación de atún y pescado a bordo de las embarcaciones, también se utiliza para congelar aves en la superficie para obtener un color claro;³⁹ no se puede emplear salmuera en alimentos no envasados que no deben salarse.

- Sacarosa: Las soluciones de este tipo de emplean para la congelación de frutas a una temperatura de -14°C con una concentración de 62% de sacarosa,³⁴ lo que eleva en gran medida la viscosidad.

- Glicoles: El empleo de este tipo de derivados no es tan común como los anteriores; los que se llegan a emplear son propilenglicol y etilenglicol.³⁹ El producto debe protegerse por un embalaje estanco de alta calidad, a la salida del aparato se lava el producto para eliminar los restos del líquido sobre el embalaje.

D) LIQUIDOS CRIOGENICOS

La congelación mediante líquidos criogénicos está alcanzando rápidamente la posición de prestigio en el ramo de la congelación.³⁴ Cuando se habla de líquidos criogénicos es hablar de gases licuados con un punto de ebullición extremadamente bajo.

El compuesto criogénico entra en contacto íntimo con el alimento captando rápidamente del mismo el calor latente de vaporización, congelándolo rápidamente.¹⁵ Los líquidos comúnmente utilizados en la industria de alimentos son:

I) Bióxido de carbono o anhídrido carbónico

II) Nitrógeno

I) Bióxido de carbono (CO₂): También conocido como anhídrido carbónico es un gas en condiciones normales (20°C y 1 kg/cm² de presión). Se encuentra presente en la atmósfera en una proporción variable, comprendida entre 0.03%

y 0.06% en volumen.³³ Es incoloro e inodoro y con un ligero sabor a ácido es poco tóxico en concentraciones elevadas y es inflamable. Para usos industriales se suministra licuado en botellas de acero a temperatura ambiental, también se puede entregar en cisterna en estado líquido a baja temperatura de -14 a -27°C. A continuación se presenta el cuadro 3 en donde se observan algunas de las propiedades físicas del CO₂ que son importantes para su utilización.

*Cuadro 3. Propiedades físicas del dióxido de carbono.*²⁴

Temperatura de ebullición	-78°C	a	1 kg/cm ²
Densidad del líquido	1.562 kg/m ³		
Calor latente de vaporización	136.7 Kcal/ kg		

El CO₂ se produce en forma natural en la fermentación de gran cantidad de productos alimenticios, por la acción de levaduras sobre los azúcares presentes, dando lugar a diversas sustancias tales como: alcoholes, ácido acético, esteres, CO₂, entre otros.

El líquido se rocía sobre el alimento formándose una capa de nieve sobre el mismo que inmediatamente se sublima, la mayor parte de su capacidad congelante 85% se obtiene aquí.¹⁵ La nieve carbónica o hielo seco tiene una

temperatura de -78°C a la presión atmosférica, teniendo una capacidad calorífica de 150 Kcal/ kg.³³

El consumo de CO_2 para un proceso determinado es de 1.20 - 3.75 lt por kilogramo de producto,¹⁵ las pérdidas de almacenamiento son mínimas. Este compuesto tiene doble acción antimicrobiana sobre el producto: una es la propiedad que es utilizada para empacado y otra basada en la reacción ácida del CO_2 con el agua contenida en el alimento.⁴

El equipo que se emplea para estos congeladores es relativamente sencillo, consta de un túnel en el cual se asperja el CO_2 sobre una banda la cual contiene al producto o de otro modo se colocan los bloques del producto junto con hielo seco. Se emplea para filetes de pescado, carne, pollo, pasta y productos similares ayudando a mantener la forma y textura del producto.

Estos equipos requieren de un bajo costo de inversión ocupan poco espacio y requieren poco mantenimiento.³⁰ No es conveniente utilizar el CO_2 en el método de congelación por inmersión debido a la presión.

Los riesgos que implica el trabajar directamente con el CO₂, para las personas son las quemaduras en la piel que produce al contacto directo, por lo que se recomienda utilizar guantes de carmaza; la inhalación de los vapores en lugares cerrados y no se recomienda guardarlo en lugares cerrados por que puede provocar explosiones.

II) Nitrógeno (N₂): El nitrógeno en condiciones normales de 20°C y 1 kg/cm² es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el principal componente del aire, donde se encuentra presente en una proporción e 78.08% en volumen.

A la presión atmosférica y temperaturas de -196°C es un líquido incoloro, inodoro y caracterizado principalmente por su inercia química, no ataca ni reacciona con otros productos, lo que favorece enormemente su utilización en la elaboración, envasado y conservación de productos alimenticios.

El nitrógeno líquido presenta muy poca solubilidad en agua y otros líquidos. Se expandiona al pasar de líquido a gas hasta 696.5 veces su volumen, cediendo su calor latente, 47.74 Kcal/ kg, en el proceso.³³

La obtención de nitrógeno líquido en forma industrial, se hace licuando el aire a base de comprimirlo y enfriarlo en etapas sucesivas, por debajo de temperatura crítica -141°C y de su presión crítica 38 kg/cm^2 . Una vez que se tiene el aire en estado líquido, se separan sus tres componentes principales (nitrógeno, oxígeno y argón) por destilación fraccionada. El primero en separarse es el oxígeno -183°C a continuación el argón -185°C y por último el nitrógeno, ya que tiene el punto de ebullición más bajo -196°C .³⁴

Las cualidades principales que han hecho del nitrógeno licuado, el fluido criogénico por excelencia en procesos de refrigeración y ultracongelación son las siguientes:

- a) Inercia química
- b) Potencia frigorífica
- c) No es tóxico

Las kilocalorias suministradas por un litro de nitrógeno líquido para enfriar un producto a -20°C son 70 pero de ellas 38.4 son de un bajo nivel térmico (-196°C), lo que le confiere una gran rapidez de congelación.³³

*Cuadro 4. Propiedades físicas del nitrógeno.*²⁴

Temperatura de ebullición	-195.8°C a	1 kg/cm ²
Densidad del líquido	808.60	kg/m ³
Calor latente de vaporización	47.74	Kcal/ kg

El nitrógeno líquido se puede asperjar o se utiliza en la inmersión de alimentos, cuando el nitrógeno entra en contacto con el alimento el 48% de su capacidad congeladora corresponde al calor latente de congelación que roba del alimento para pasar a estado gaseoso, el 52% restante de su entalpía queda en el gas enfriado que se recircula para aprovechar toda su capacidad de congelación.¹⁵

El nitrógeno líquido también es utilizado en los túneles o congeladores en espiral ya que se ahorra el espacio en el cual van colocados los difusores. La cantidad que se requiere de nitrógeno por kilogramo de producto es de 1 a 1.5 litros.³⁹ La inmersión de los alimentos en nitrógeno líquido no provoca deshidratación en el alimento, pero causa un intenso shock térmico que puede provocar fisuras o grietas que pueden ser benéficos en algunos casos para ciertos alimentos.³¹

El diseño de los equipos para congelación es muy sencillo; existen algunos, en los cuales el nitrógeno líquido es rociado sobre el producto, que es transportado por una banda o malla metálica, mediante las partículas del líquido se obtiene el efecto enfriador del calor latente de vaporización.

Se han diseñado, construido e instalado equipos compactos que utilizan nitrógeno y los estudios han establecido que se puede utilizar un pasteurizador de vapor para que los gases del nitrógeno puedan usarse para preenfriamiento.⁴ Estos equipos aumentan la productividad hasta 11.5 toneladas por hora dependiendo de la aplicación.²

El riesgo que implica el trabajar con el nitrógeno líquido, es el contacto que puede tener con la piel ya que puede provocar desde quemaduras hasta un accidente mayor que congele la piel y se pierda esa parte del cuerpo.

No se recomienda trabajar en materiales frágiles como el cristal ya que se puede romper, su manejo se debe realizar en recipientes adecuados para el transporte y no produzca fuga de vapores.

Para el diseño de estos equipos se toman en cuenta los criterios económicos como:

- a) Capital
- b) Electricidad
- c) Costos del líquido criogénico
- d) Mantenimiento
- e) Cisterna o tanque de almacenamiento
- f) etc.

Para la selección, los factores que influyen son los siguientes:

- a)Potencia frigorífica
- b)Tiempo de congelación
- c)Características del producto
 - Tipo de producto
 - Líquido o sólido

- Cocinados

- Blandos

d)Características

- Grosor

- Forma

- Dureza

- % de agua contenida, propiedades físicas y térmicas

e)Envase / Embalaje

f)Problemas de deshidratación

Lo más costoso en sí es el líquido ya que el equipo no requiere de muchos accesorios ni ocupa mucho espacio, pero este costo puede despreciarse ya que se obtiene un producto de gran calidad.

Se pueden considerar dos desventajas principales:

- a) No se puede controlar la velocidad de congelación
- b) No se aprovecha la eficiente capacidad de refrigeración del medio ya que no todos los alimentos resisten tan baja temperatura.⁹

Haciendo una comparación entre ambos líquidos criogénicos se muestra el cuadro 5, en donde se destacan las principales ventajas que tiene el nitrógeno con respecto al dióxido de carbono.

Cuadro 5: Comparación entre nitrógeno y dióxido de carbono.²⁴

Elemento de comparación	Nitrógeno	Dióxido de Carbono	Ventaja para:
Temperatura	-196°C	-79°C	N ₂ más rapidez de congelación
Reacciones	Inerte	En contacto con el agua produce ácido carbónico	N ₂ inerte
Capacidad frigorífica	89.04Kcal/kg	60 Kcal/ kg	N ₂ mayor capacidad
Costo Almacenamiento	\$6.18 kg A temperatura ambiente	\$6.50 kg En frío	N ₂ menor costo N ₂ más seguro y barato
Seguridad	Inerte	Gas tóxico, produce asfixia	N ₂ más seguro
Túneles de congelación	Fácil regulación	Difíciles de regular	N ₂ masa fácil de regular

Las principales ventajas de la congelación por nitrógeno son:

- a) Punto de ebullición del nitrógeno líquido a la presión atmosférica es de -195°C, lo cual proporciona un gran potencial para la transmisión de calor.
- b) El líquido se pone en contacto íntimo con el alimento aunque éste sea de forma irregular.
- c) Para llevar a cabo la congelación no se requiere de ningún tratamiento previo de preparación del nitrógeno.
- d) Durante la congelación el oxígeno se elimina deteniendo la oxidación.³³
- e) La congelación es rápida y puede producir la calidad que con otros medios no se consigue.
- f) La congelación por éste medio resulta en menos pérdidas debidas a la deshidratación 0.5%.¹⁵

En el cuadro 6 se realizó la comparación del nitrógeno con otro líquido criogénico también se llevó a cabo la comparación con un método de congelación que ocupe aire.

Cuadro 6: Comparación entre nitrógeno y frío mecánico.²⁴

Elemento de comparación	Nitrógeno	Frio mecánico	Ventaja para
Pérdidas de peso	0.1%	2.5-3.2%	N ₂ menos pérdidas
Velocidad de congelación	3-15 minutos	20-180 minutos	N ₂ congelación más rápida
Fluido refrigerante	N ₂ -196°C	Aire -25 a -40°C	N ₂ Tem. más baja
Número de túneles	1	4-6	N ₂ costo inicial menor
Mantenimiento	1%	4-6%	N ₂ mant. Menor
Gasto anual	X pesos/ kg	1.4 X pesos/ kg	N ₂ menos gastos
Calidad microbiológica	Detención más rápida del crecimiento bacteriano	Detención más lenta	N ₂ mejor calidad microbiológica
Calidad física	Sin exudado, frescura, inertización	Exudado, color, oxidación por aire	N ₂ mejor calidad física

Al observar el cuadro se nota que el nitrógeno cuenta con ventaja en todos los elementos de comparación, siendo las principales las pérdidas de peso en el producto y velocidad de congelación ya que esto se refleja en los costos.

1.4 CARNE

La carne es uno de los principales alimentos para el hombre. Se pueden encontrar diferentes tipos de carne como: buey, ternera, cerdo, etc., así como también se pueden encontrar en una gran variedad de cortes: lomo, bistec, etc.,

El lomo de cerdo es obtenido de la canal, de la parte baja, es decir del cuarto trasero, para obtener una carne de buena calidad se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Edad: El tejido muscular de los animales jóvenes contiene mayor cantidad de agua, menor cantidad de mioglobina y menos grasa, por el contrario los animales viejos tienen más sabor, el color es más oscuro y contienen mayor cantidad de mioglobina. Los lechones son sacrificados a la edad de 3-4 meses y los cerdos de 4-6 meses.²⁵
- b) Características de grasa: estas varían substancialmente a la edad del animal y el corte, y juegan un papel muy importante en el proceso de congelación, debido a su naturaleza (saturadas, monoinsaturadas, polinsaturadas, etc.).

- c) Dieta: La alimentación que tuvieron los animales durante su desarrollo juega un papel importante ya que de ésta depende su crecimiento, y la composición general de la carne, un animal bien alimentado da una carne aceptable y de buen sabor.
- d) Matanza: Se le sacrifica procurando que éste no se ponga muy nervioso y que este descansado para que la carne esté en buen estado; ésta se lleva a cabo por choque eléctrico y posteriormente el degollado y desangrado.

Una vez que el animal ha sido sacrificado se procede a su limpieza, se eliminan las vísceras y la canal es cortada en sentido longitudinal, partiendo en dos las vértebras obteniéndose dos medias canales, estas piezas no deben conservarse más de 3 ó 4 días, cuidando siempre que la temperatura no sobrepase los 2°C y la humedad del aire no sea superior al 85%, llevándose a cabo durante este periodo el proceso conocido como rigor mortis (rigidez). Durante este proceso los músculos se ponen rígidos, se acortan y ofrecen una gran resistencia a cualquier tipo de doblez que se les quiera ejecutar.

El rigor mortis comienza por los músculos del corazón y la lengua y continua por la cabeza, patas, etc.,²⁸ Los procesos bioquímicos característicos, que tienen lugar en este período son los siguientes:

- 1) Degradación del glucógeno con la formación de ácido láctico y disminución de pH.
- 2) Degradación de ácido creatinfosfórico.
- 3) Degradación de ATP.
- 4) Asociación de la actina y la miosina que forman el complejo actiomiosina.

De manera que después de 24 y hasta 36 horas de conservación de la carne a temperatura de 4°C el contenido de ácido láctico alcanza su máximo y el pH su mínimo.

El estado fisiológico del animal antes de la matanza es de vital importancia para el desarrollo del rigor mortis, ya que si el animal está en reposo o ha realizado muy poco trabajo su contenido de glucógeno es alto, la cantidad de

ácido láctico será muy pequeña, y el rigor mortis comenzará más tarde pero será más duradero, éstas son las condiciones para el correcto desarrollo. El contenido de glucógeno en la carne de cerdo es mucho menor que en la carne de res.²⁸

La canal está compuesta de músculos, huesos y grasa¹¹ y su peso aproximado es de 70 a 90 kg. Los principales componentes de la carne se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Componentes principales de la carne.

Componente	Contenido (%)
Agua	72 - 75
Proteína	18.5 - 19
Grasa	3

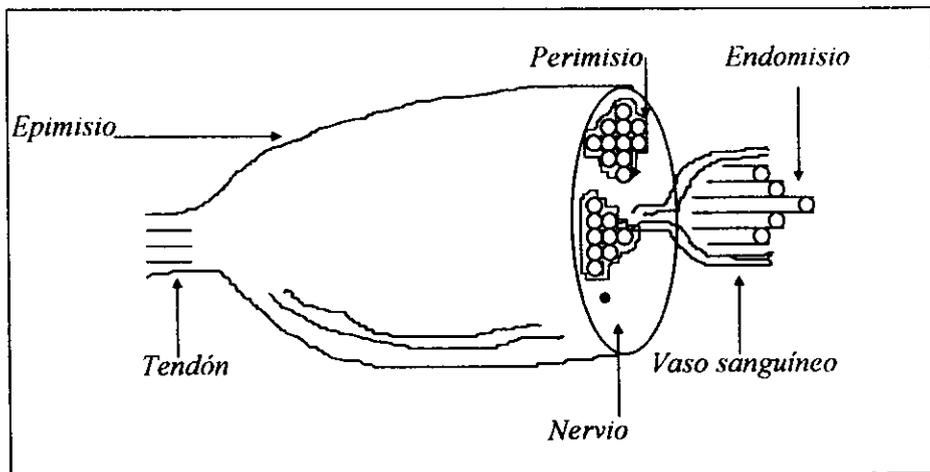


Figura 6. Esquema del músculo y sus componentes.

Los músculos estriados representan casi la totalidad del tejido muscular del organismo del animal, están cubiertos por una membrana delgada transparente, llamada el epimisio, compuesto primordialmente de colágeno y pequeñas cantidades de elastina. Cuando el músculo es cortado en sentido vertical, figura 6, el epimisio se nota por un pliegue interno y divide el músculo en distintas secciones de manojos de fibras, las cuales a su vez, están rodeadas por el tejido conjuntivo llamado perimisio. Cada manojito de fibras está compuesto de fibras musculares las cuales varían de tamaño que van desde 10 a 180 micrones dependiendo de la función, están rodeadas por tejido conjuntivo llamado endomisio, la fibra puede ser considerada como la suma de complejos componentes: miofibrillas, proteínas sarcoplásmicas disueltas en las células citoplásmicas.

Las miofibrillas representan los elementos comprimidos del tejido muscular, tienen una longitud que varía entre 1 y 3 milimicrones.

La fibra muscular está compuesta por miosina y actina las cuales se encuentran organizadas de forma sistemática, como se observa en la figura 7.

En donde la miosina representa el filamento grueso y la actina el filamento delgado, siendo A) el corte horizontal de la fibra y B) la fibra se muestra en su corte transversal.

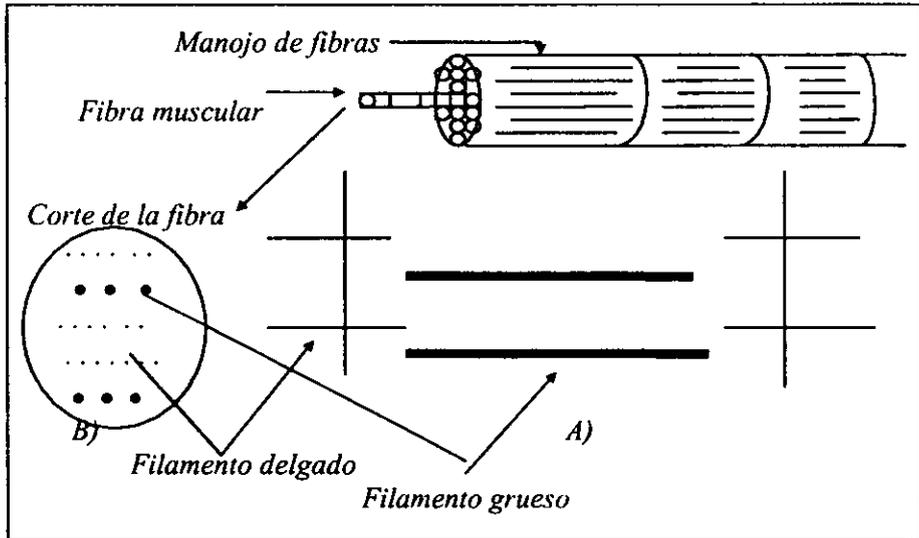


Figura 7. Representación esquemática de la estructura de la fibra muscular.²⁵

1.5 CONGELACION DE LA CARNE

Los procedimientos de congelación, son aplicados desde hace varios años para la conservación de la carne y obtener un producto de excelente calidad influyendo, el método y la velocidad de congelación.

Para la carne cruda la congelación comienza aproximadamente a -1.2°C ²⁷ debido a los solutos contenidos en el jugo de la carne, a -5°C el 80% del agua es congelada y a -30°C se alcanza la congelación del 90% del agua congelable.²⁵

La velocidad de congelación tiene una gran influencia en la calidad de la carne en la descongelación particularmente en la pérdida de jugos. La velocidad de cristalización y el tamaño de cristales formados depende de la masa de la carne, el método de congelación, las condiciones de congelación y el empaque.

Si el tejido es congelado rápidamente, los fluidos de las células permanecen en su sitio y forman diminutos cristales distribuidos en todo el tejido. La carne se puede congelar conforme a su tamaño:

- a) Para las canales se emplean cámaras o túneles en los cuales el aire es forzado dándose una congelación rápida.
- b) Para los cortes se emplean túneles, en donde un líquido criogénico es rociado, o equipos de inmersión donde se utilizan salmueras.¹¹

En algunos casos se puede presentar el agrietamiento por congelación si las condiciones no son las adecuadas, es decir, si la temperatura es muy baja; y el tiempo de exposición es muy prolongado.³⁵

Está demostrado que la congelación lenta provoca pérdidas de jugos mucho mayores que otro tipo de congelación. La congelación lenta provoca la formación de cristales de hielo en espacios extracelulares, esto aumenta la concentración de solutos y la extracción de agua osmóticamente, y se presenta la ruptura de la miofibrilla.

1.6 EFECTO DE LA DESCONGELACIÓN

El aspecto externo de la carne que ha sido congelada, diferencia muy poco de la carne fresca. La cantidad de jugos exudados es mayor si la congelación fue lenta.¹²

El calor necesario para la fusión de los cristales de hielo y para el recalentamiento del producto puede aplicarse bien a la superficie, con los procedimientos clásicos, en donde el hielo superficial se funde, formando una capa de agua cuya conductividad y difusividad térmica son inferiores a las del hielo. Como consecuencia, la velocidad de transmisión de calor hacia el interior del alimento se reduce; por el contrario, durante la congelación a medida que la capa de hielo se hace más gruesa, la velocidad de transferencia de calor aumenta. O bien, directamente a la masa del producto por medio de microondas, en donde éste es colocado en un campo electromagnético alterno de alta frecuencia, usualmente 2450 MHz. El calor se genera entonces directamente en la masa del producto por la agitación molecular resultante del cambio rápido de orientación de los dipolos eléctricos. La duración de la descongelación es, por lo tanto, muy corta; la periferia del producto absorbe pues más energía y se calienta antes que el centro.

La descongelación se puede llevar a cabo por varios métodos:

- a) Aire: La descongelación se lleva a cabo con cámaras de 5 a 6°C con buena ventilación durante 4 ó 5 días.¹¹ Las canales son suspendidas

sobre rieles, ésta descongelación es lenta para que los tejidos de la carne tengan tiempo de reabsorber el agua que se está descongelando.

b) Agua: Si la carne está debidamente empacada y sellada se puede sumergir en agua a temperatura ambiente o templada.

c) Calentamiento dieléctrico: Este procedimiento es rápido y no provoca exudación importante, las pérdidas son menores al 1%,¹¹ porque el calor se propaga del interior al exterior.

1.7 DESJUGUE

El desjugue es una propiedad muy importante ya que al medir dicha propiedad se puede observar que tan eficiente o rápida fue la congelación. La pérdida de jugos no solo es una desventaja económica, sino que el tejido es más susceptible a una contaminación por microorganismos.

La alteración de las proteínas y de la estructura celular debido a la congelación entraña una disminución de la capacidad de retención del agua tisular. Durante

la descongelación una parte del agua procedente de la fusión de los cristales de hielo no es reabsorbida y da lugar a exudación.

Los jugos pueden definirse como el agua no reabsorbida que drena y puede arrastrar ciertas proteínas solubles, elementos inorgánicos y pequeñas cantidades de vitamina B.

Anon y Calvelo (1980) realizaron estudios rigurosos en los cuales eliminaban los parámetros capaces de intervenir en la exudación. Las muestras eran del mismo tamaño, procedían del mismo músculo y la duración de cristalización local, se media rigurosamente. Llegaron a la conclusión de que para una duración de cristalización mayor a 20 minutos la exudación es independiente de la velocidad de congelación. Por otro lado Cligler y Dawson (1968) encontraron que la pérdida de jugos aumenta por cada hora que dura la congelación. La carne de cerdo contiene más jugos que cualquier otro tipo de carne y por consiguiente es factible que ésta pierda más jugos después de la descongelación, si la congelación fue llevada a cabo por un método lento.

1.8 PRUEBAS TEXTURALES

Uno de los factores que influyen en la calidad de los alimentos es la textura. Este parámetro es importante ya que es usado como criterio de selección de los alimentos. La textura es una propiedad de los alimentos extremadamente compleja, estando constituida por varios parámetros interrelacionados entre sí.

El estudio reológico de los alimentos y la medida objetiva de la textura (dureza, fibrosidad, viscosidad y otras características), es importante ya que es el principal blanco de la mayoría de los estudiosos en la rama alimentaria. Se han desarrollado un gran número de instrumentos para medir características texturales, centrándose sobre todo en la realización de pruebas de compresión y de resistencia al corte, son las propiedades mecánicas de los alimentos las que son estudiadas para determinar la textura de los mismos.³⁵

Para evaluar la textura se tienen diferentes métodos, por ejemplo:

- a) Métodos Imitativos: Intenta simular en cierto grado las fuerzas y deformaciones a las que está sometido el alimento mientras está siendo consumido. El principal aparato empleado es el texturómetro de General Foods.²¹

- b) Métodos empíricos: Miden las propiedades del producto a menudo no bien definidas y que no pueden expresarse fácilmente en unidades fundamentales. La fuerza puede aplicarse en una amplia variedad de formas, como penetración, cizalla, compresión, extrusión, impacto, corte y flujo.²¹

- c) Métodos químicos y microscópicos: Se refiere principalmente a los cambios ocurridos en frutas y hortalizas. Dichos cambios son bioquímicos y son medidos para determinar pectina soluble y almidón/azúcar.²¹

La resistencia es la propiedad de un cuerpo en virtud de la cual soporta la aplicación de una fuerza sin sufrir ruptura, o una deformación profunda. La ruptura se produce por dos mecanismos que operan conjuntamente.

Cuando se aplica una fuerza o carga en un alimento, ésta no se distribuye homogéneamente y los enlaces se van rompiendo sucesivamente. Se notan pequeñas fisuras en el alimento que afectan la resistencia, por lo que los valores de resistencia a la ruptura, límite de ruptura, calculados sobre la base de las fuerzas interatómicas son siempre mucho más altos que los determinados experimentalmente y los resultados de una misma muestra varían ampliamente.³¹

El número y distribución de las fisuras de un alimento está determinado por la estructura del mismo y el proceso a que ha sido sometido. En la figura 8 se puede observar el comportamiento del límite de ruptura.

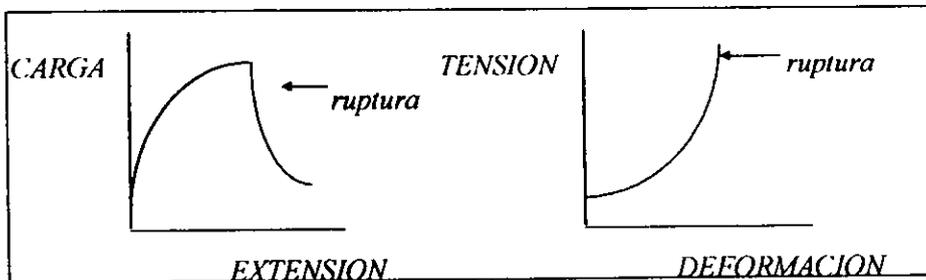


Figura 8. Diagramas de alargamiento en alimentos.³¹

Se puede definir a la dureza como la fuerza requerida para comprimir una sustancia, o como la resistencia a la deformación local; puede determinarse

intentando introducir por presión en el material; aunque es más fácil apreciarla que medirla. Dependiendo de la naturaleza del alimento es el grado de dureza, siendo los cereales los que mayor dureza presentan y los frutos con la menor dureza, esto se puede evaluar por ensayos de compresión e impacto.

Los ensayos de compresión se utilizan para calcular el límite de ruptura, ya que se realiza el estudio al colocar el alimento entre dos superficies planas, como una prensa o como algún otro aparato de superficie plana en donde se aplique fuerza por cualquiera de los extremos, dejando uno fijo, aplicándose la compresión.

El punto de ruptura o esfuerzo en el punto de ruptura se mide dividiendo la carga entre el área inicial, aunque más cómodo, es incorrecto. El error es debido al fenómeno denominado estricción o estrechamiento súbito. Si la carga en el momento de la ruptura se divide entre el área medida después de la fractura se tiene el valor real del esfuerzo en el punto de ruptura.³⁷

La compresión teniendo el estudio del límite de ruptura se da en unidades de kg/mm^2 . Para obtener un verdadero límite de ruptura al comprimir un alimento, se debe eliminar o reducir al mínimo el rozamiento entre las superficies de contacto.

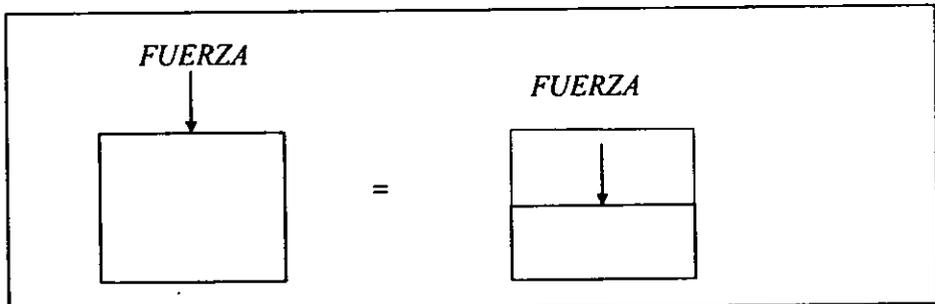


Figura 9. Principio de compresión.³⁸

Al comprimir el alimento entre las superficies planas del equipo se supone corrientemente que la fuerza compresora se distribuye uniformemente sobre la sección.³⁸

Para seleccionar un material que resista un choque o golpe intenso y repentino, debe medirse su resistencia a la ruptura mediante una prueba de impacto.⁵

A temperaturas reducidas, el material es frágil y se observa poca deformación en el punto de fractura.

Por lo general las pruebas de impacto se utilizan en otros materiales de naturaleza más dura, ya que emplean el modelo del péndulo donde se requiere medir el límite de ruptura del material, y se le deja ir una probeta dando el impacto. En alimentos se utiliza dejando caer un peso determinado sobre una muestra de alimento que se coloca sobre una superficie plana y el impacto se da ya que al caer el peso lo empuja contra la superficie provocando la fractura. Se da en unidades de kg/mm^2 .

CAPITULO II

**PLANTEAMIENTO
EXPERIMENTAL**

II PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo ésta investigación fue necesario plantear el problema: “análisis del límite de ruptura de la carne de cerdo”, debido a que los estudios que se han realizado son referidos a la carne de res.

Objetivo general: Establecimiento de la relación del tamaño de cristal sobre el comportamiento del límite de ruptura y % de exudados al aplicar dos velocidades de congelación, como parámetros iniciales de la molienda de carne.

De éste objetivo se desprenden dos objetivos particulares, los cuales son necesarios para la resolución del problema.

Objetivo particular 1: Determinar la influencia de la velocidad de congelación (contacto en placas (CO₂) e inmersión (N₂)), en el límite de ruptura en la

carne de cerdo para establecer la relación entre la fuerza de compresión y la fuerza de impacto.

Objetivo particular 2: Evaluar el efecto de la velocidad de congelación en la calidad final del producto mediante la medición del % de exudados en la carne de cerdo, ya que la velocidad de congelación está estrechamente relacionada con el tamaño de cristal de agua.

Las hipótesis a comprobar para estos dos objetivos son:

1. - Si el límite de ruptura se da con mayor facilidad en carne congelada entonces el daño a los tejidos disminuye cuando la temperatura es mucho menor que la temperatura de congelación.
2. - Si la velocidad de congelación aumenta, el tamaño de cristal será menor y el daño celular es mínimo, entonces la liberación de jugos en la carne descongelada no será significativa.

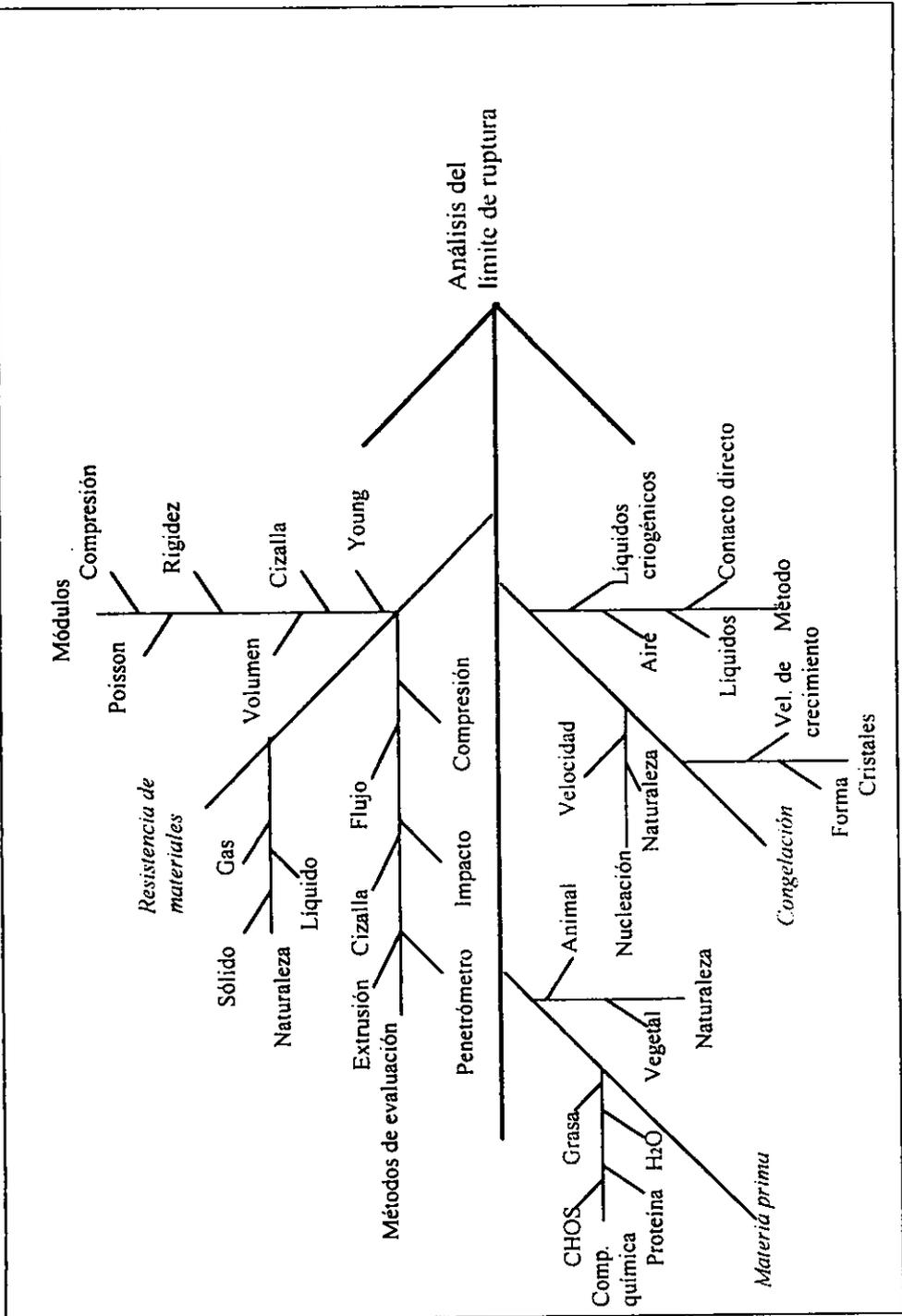
2.1 SELECCIÓN DE VARIABLES

En la figura 10 se presenta el diagrama causa-efecto en donde se observan las principales variables que influyen en el análisis del límite de ruptura, de aquí se seleccionan las más importantes para dicho estudio.

La materia prima seleccionada es la carne de cerdo, macho de 6 meses de edad, capado y el músculo seleccionado para trabajar es el lomo bajo que forma parte del cuarto trasero; utilizándose pasadas 24 horas de su matanza. Se emplearon cortes con orientación de fibras verticales y horizontales de 1 y 2 cm de espesor. Se determinó el contenido de agua, grasa y proteína para realizar una mejor experimentación, debido a que el contenido de agua es importante para la evaluación de la velocidad de congelación e indirectamente el tamaño de cristales; el lomo es una de las partes que tiene menor cantidad de grasa la cual es un problema durante la congelación.

El método empleado para la congelación fue mediante líquidos criogénicos aplicando nitrógeno líquido, efectuándose ésta por inmersión con muestras de carne de 4 cm de diámetro y con espesores de 1 y 2 cm; también se empleó

Figura 10. Diagrama causa-efecto



bióxido de carbono sólido, en ésta parte la congelación se da por contacto en placas; las muestras de carne son empacadas al vacío en bolsas de polietileno esto con la finalidad de evitar resistencias a la congelación.

En ambos tipos de congelación se determinó la velocidad de la misma, para observar la diferencia en tiempos empleados en éste proceso, esto nos lleva indirectamente a determinar velocidad, tamaño y forma de cristales.

Por lo que se refiere al estudio de textura se decidió emplear pruebas de impacto y compresión como métodos de evaluación, debido a que éstos métodos son los que aplican fuerza y producen la ruptura del alimento, ya que los otros métodos se refieren a penetración y cizalla entre otros los cuales producen otros tipos de rupturas.

2.2 DESARROLLO METODOLOGICO

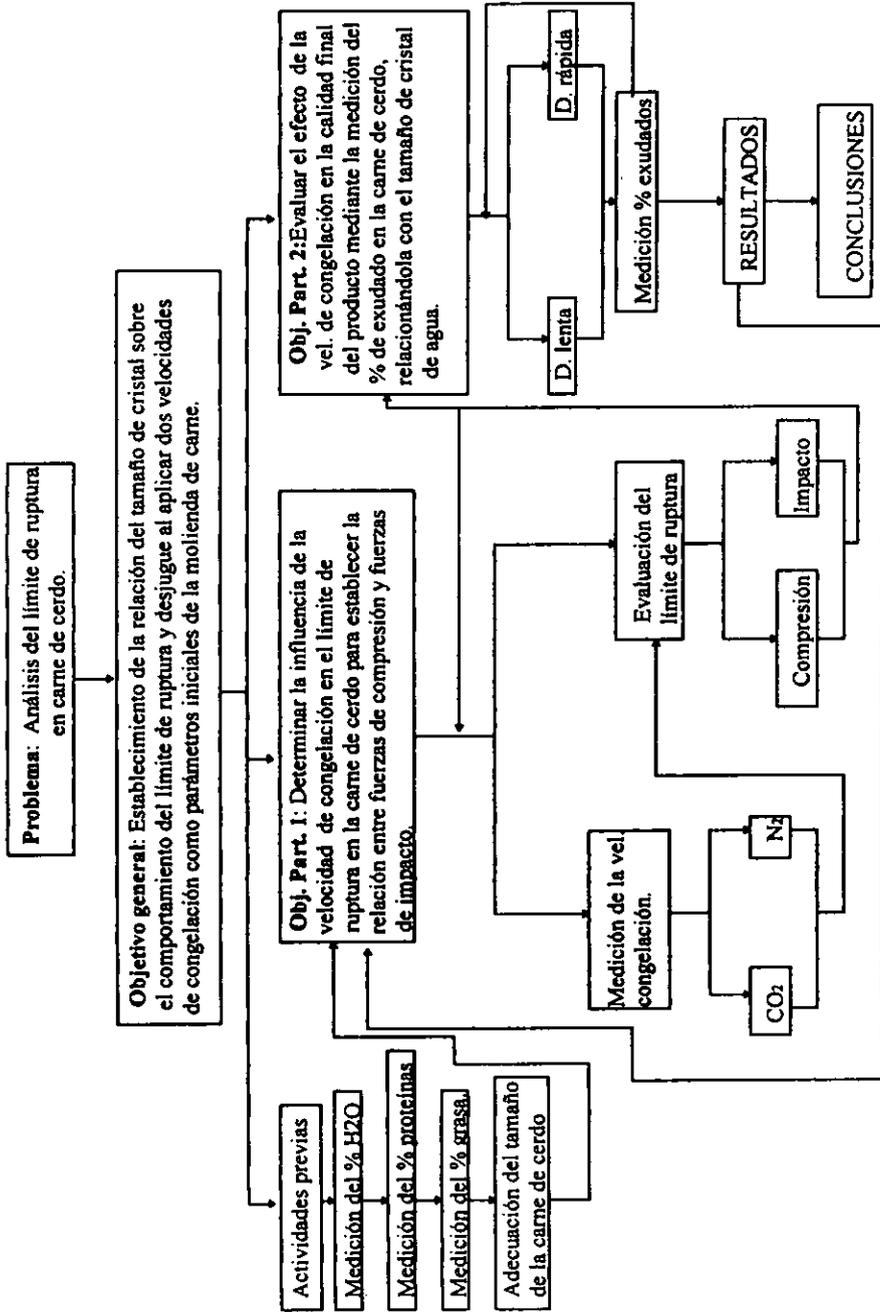
Para llevar a cabo el estudio se elaboró un cuadro metodológico el cual explica con detalle las actividades a seguir. Figura 11.

Fue necesario realizar actividades previas como lo son:

1. - Medición del contenido de agua en la carne de cerdo. Esta influye sobre la velocidad de congelación; aunque ya se reportan los datos en la bibliografía hay que corroborarlos para que no existan errores que afecten la experimentación. Se realizó mediante la técnica AOAC de 1990, con número 935.29, realizando la prueba por triplicado.

2. - Medición de contenido de grasa en la carne de cerdo. Como era necesario trabajar con carne de cerdo magra se realizó ésta prueba para asegurar que el contenido de grasa fuese mínimo y no afectara la experimentación. Se utilizó

Figura 11. Cuadro metodológico



la técnica AOAC de 1990 con el número 945.16, también se realizó por triplicado.

3. - Medición del contenido de proteína en la carne de cerdo el cual es el segundo componente más importante después del contenido de agua, se midió para confirmar el dato bibliográfico. Se empleó la técnica 920.87 publicada en el AOAC de 1990, mediante el método de Kjendhal, la prueba por triplicado.

4. - Adecuación del tamaño de la carne, las muestras de corte tanto transversal como longitudinal fueron de 10 cm en su parte más larga y de 6 cm de ancho aproximadamente y de 1 y 2 cm de espesor, éstas muestras se emplearon en la congelación con bióxido de carbono ya que el tamaño de las placas es de 15 x 15 cm. Para la congelación con nitrógeno las muestras se cortaron con un cilindro de metal de 4 cm de diámetro y con los espesores antes mencionados.

Las actividades previas son realizadas para resolver el objetivo particular 1 que era: Determinar la influencia del tipo de congelación, contacto en placas (CO₂) e inmersión (N₂) en la velocidad de la misma y el límite de ruptura en la

carne de cerdo para determinar la relación inicial con el estudio de la molienda. Para cumplir con la primera parte del objetivo se presenta el cuadro 8.

Cuadro 8. Variables que influyen en la velocidad de congelación.

Variable Independiente	Variable Dependiente	Variable de respuesta
Temperatura final espesor	Tiempo	Velocidad de congelación

Para la medición de la velocidad de congelación se realizaron algunas pruebas previas en donde se utilizaron 3 termopares (2 marca Atkins y 1 Lutron con una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$) los cuales se insertaron en tres zonas en las cuales fue dividida la carne: el centro geométrico, el extremo y el punto intermedio entre estos, con la finalidad de observar el comportamiento de la congelación y comprobar que llega a un equilibrio en donde en un mismo tiempo la temperatura es similar en las tres zonas. Con esto se decidió trabajar en el centro geométrico de la muestra ya que es el punto más caliente y hay que asegurar que dicho punto llegue a la temperatura deseada.

La de congelación se realizó con bióxido de carbono sólido por contacto en placas, se emplearon dos placas de 15 x 15 x 10 cm, las cuales enfriaban a las placas de metal que se elaboraron de malla de alambre de 0.2 cm de espesor y

una apertura de 0.5 cm, figura 12, cubiertas con papel aluminio para facilitar la transferencia de calor, de la placa de CO₂ hacia la carne. Esta se colocó en contacto indirecto con el CO₂ porque éste enfriaba primero a las placas de metal y éstas congelaban a la carne, se realizó con la finalidad de que la carne no sufriera quemaduras si era expuesta al contacto directo con el CO₂.

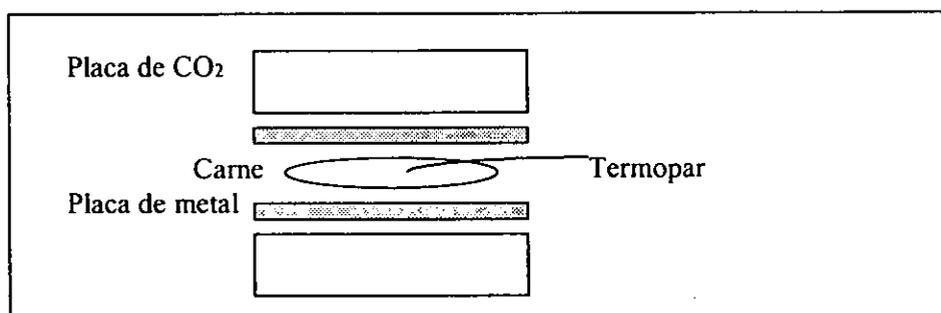


Figura 12. Acomodo de placas empleado para congelación de dióxido de carbono.

El sistema se aisló en una hielera térmica cerrada para evitar pérdidas significativas de CO₂ y para que no existieran corrientes de aire que afectaran la experimentación.

Se tomaron lecturas de la temperatura cada 10 segundos hasta las temperaturas finales de congelación (-25°C y -35°C), con los cuales se realizaron posteriormente historias térmicas, la secuencia de cálculo se establece en la sección de técnicas de control.

La congelación se llevó a cabo también por inmersión con nitrógeno, aquí la carne fue acondicionada de un tamaño menor, para tener un manejo más seguro, debido a que la utilización de nitrógeno implica ciertos riesgos, como puede ser una quemadura en la piel, una irritación y el rompimiento de envases de vidrio. El nitrógeno se colocó en un termo especial para evitar las evaporaciones que se dan con el contacto de otros materiales más calientes, la carne fue empacada y se le colocó el termopar en el centro geométrico a 0.5 cm y 1 cm de profundidad para las muestras de 1 cm y 2 cm de espesor respectivamente. Se tomó el tiempo que tardó en llegar a las temperaturas finales de congelación (-25°C y -35°C según lo requirió el experimento).

Al concluir con esta actividad y al obtener los resultados correspondientes se analizó el tiempo que se requirió para ambos tipos de congelación, para las dos temperaturas finales de congelación y para los dos espesores empleados. A partir de aquí la congelación se realizó sin insertar el termopar en la carne, debido que al insertar el termopar se produce un daño en tejido de la carne irreversible, lo cual afectaría la experimentación.

Para cumplir con la segunda parte del objetivo, lo que se refiere al límite de ruptura, se realizaron pruebas de impacto y compresión con la finalidad de observar la diferencia que existe en la fractura de la carne. En los cuadros 9 y 10 se muestran las variables para cada prueba.

Cuadro 9. Variables que influyen en el estudio del límite de ruptura por compresión.

Variable Independiente	Variable Dependiente	Variable de respuesta
Temperatura de congelación Espesor	Peso Fisura o ruptura de la carne	Límite de ruptura

Cuadro 10. Variables implicadas en el estudio del límite de ruptura por impacto.

Variable Independiente	Variable Dependiente	Variable de Respuesta
Peso Espesor Temperatura de congelación Distancia	Fisura o ruptura de la carne	Límite de ruptura

En esta segunda parte del estudio se empleó "ingeniería de calidad" para obtener los resultados de cada prueba mediante el análisis estadístico respectivo, utilizando 5 variables las cuales son: orientación de fibras, temperatura final de congelación, espesor, tipo de congelación y descongelación; para presentar un número reducido de experimentos que

fueron 16 para cada prueba, llegando a 32, con la finalidad de tener un orden de experimentación.

Para la prueba de compresión se realizaron pruebas preliminares para determinar como se podía ejecutar correctamente, de las cuales la más adecuada fue la prensa Carver. En donde se colocó la carne congelada entre los platos de la misma, en donde se midió la fuerza que se empleó, tomándose la lectura directamente del manómetro integrado en la prensa, el cual proporciona las lecturas en toneladas fuerza.

Para la realización de la prueba de impacto también se llevaron a cabo pruebas preliminares, por lo que se llegó a la conclusión de utilizar un método empírico, que consta de una superficie plana, una pared perpendicular a la superficie con una anotación métrica para verificar la caída del peso a utilizarse, una pesa de plomo de 1000g en caída libre para evitar que tuviera resistencias que afectaran la medición del límite de ruptura, como se muestra en la figura 13. Para la carne con espesor de 1 cm se dejó caer desde una altura de 20 cm y para la carne de 2 cm de espesor se empleó una altura de 30

cm, la pesa se dejaba caer en el centro de la carne para que tuviera buen impacto y la fractura se pudiera darse adecuadamente.

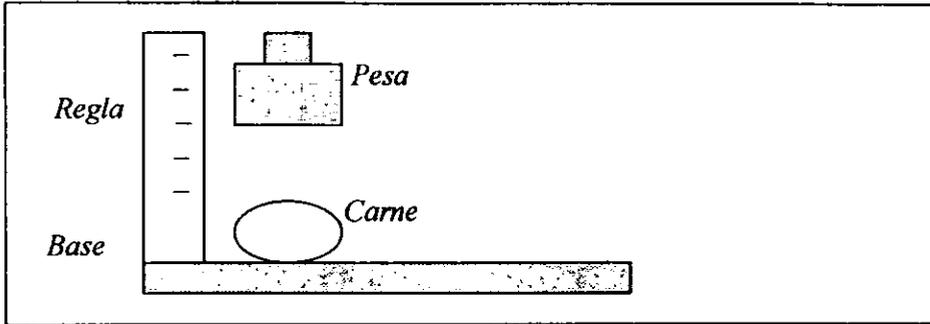


Figura 13. Esquema del equipo empleado en la prueba de impacto.

Para cumplir el objetivo particular 2 que era: Evaluar el efecto de la velocidad de congelación en la calidad final del producto mediante la medición del % de exudados en la carne de cerdo, ya que la velocidad de congelación está estrechamente relacionada con el tamaño de cristal de agua, se presenta el cuadro 11 en donde se muestran las variables a estudiar.

Cuadro 11. Variable implicadas en el estudio del % de exudados.

Variable independiente	Variable dependiente	Variable de respuesta
Espesor Fuerza empleada Descongelación Tiempo empleado	Liberación de jugos	% de exudados

En éste experimento se tiene una estrecha relación con las actividades anteriores, en donde se menciona a la descongelación como una de las 5

variables de estudio en la “ingeniería de calidad”; para la realización de la descongelación se utilizó un horno de microondas Panasonic con 10 niveles de potencia, la descongelación dieléctrica emplea las ondas para calentar la carne poco a poco sin que se que llegue a tener una cocción se emplearon potencias de calentamiento bajas, como la potencia I que emplea 72 W y la intermedia en donde se emplean 360 W de los 720 que se utilizan como total. Se empleó el horno de microondas ya que se ocupan tiempos cortos y reales y se produce una descongelación homogénea, lo que no ocurre con una descongelación en donde se ocupa agua y la que se realiza a temperatura ambiente.

Con las muestras utilizadas, en las actividades de impacto y compresión, se procedió a la descongelación de la carne la cual ya estaba fracturada realizando con esto la prueba del % de exudados.

Una vez realizada la descongelación de la carne se colocaba entre dos papeles Wathman del #3 previamente pesados, colocándole encima un peso constante de 1 kg por un tiempo constante de 1 minuto y posteriormente pesar el papel, con los jugos exudados. Previamente a las pruebas de impacto y compresión la carne se había pesado en balanza analítica.

En el cuadro 12 se muestran los niveles de variación para cada una de las variables en estudio.

Cuadro 12. Niveles de variación.

Variabes	Nivel 1	Nivel 2
Orientación de fibras	Longitudinal	Transversal
Técnica de congelación	CO ₂	N ₂
Temperatura final de congelación (° C)	-25	-35
Espesor (cm)	1	2
Descongelación	Lenta	Rápida

Se retoman las variables para la explicación del arreglo ortogonal, que se seleccionó, basándose en lo propuesto por Ross (1989) y fue aplicado en la “ingeniería de calidad”. De acuerdo con los fundamentos se debe seleccionar un arreglo ortogonal con igual o menor número de grados de libertad (gl) totales para ello se sigue la siguiente secuencia:

$$\text{Obtención de grados de libertad totales} = \text{gl factores} + \text{gl interacciones}$$

en donde:

gl factores = sumatoria de los grados de libertad de todos los factores

gl interacciones = sumatoria de los grados de libertad de todas las interacciones que se desean en el experimento.

a) Obtención de los grados de libertad de los factores

$$gl \text{ factores} = \text{número de niveles} - 1$$

En éste caso se tienen 5 factores:

A) orientación de fibras

B) técnica de congelación

C) temperatura final de congelación

D) espesor

E) descongelación

Como el número de niveles que se tiene es de 2 se realizó lo siguiente:

$$gl \ A = 2 - 1 = 1$$

$$gl \ B = 2 - 1 = 1$$

$$gl \ C = 2 - 1 = 1$$

$$gl \ D = 2 - 1 = 1$$

$$gl \ E = 2 - 1 = 1$$

$$gl \text{ factores} = gl \ A + gl \ B + gl \ C + gl \ D + gl \ E$$

$$gl \text{ factores} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5$$

b) Obtención de los grados de libertad de las interacciones

$$gl \text{ interacciones} = \text{multiplicación de los dos factores que interactúan}$$

$$gl \ A \times B = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ A \times C = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ A \times D = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ A \times E = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ B \times C = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ B \times D = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ C \times D = 1 \times 1 = 1$$

$$gl \ D \times E = 1 \times 1 = 1$$

La suma de los grados de libertad de las interacciones es igual a 8.

Con los datos obtenidos, entonces ya se puede calcular los grados de libertad totales.

$$gl \text{ totales} = 5 + 8 = 13$$

Analizando los arreglos ortogonales que existen, se obtuvo el que cumple con los grados totales obtenidos es el L₁₆. Figura 14.

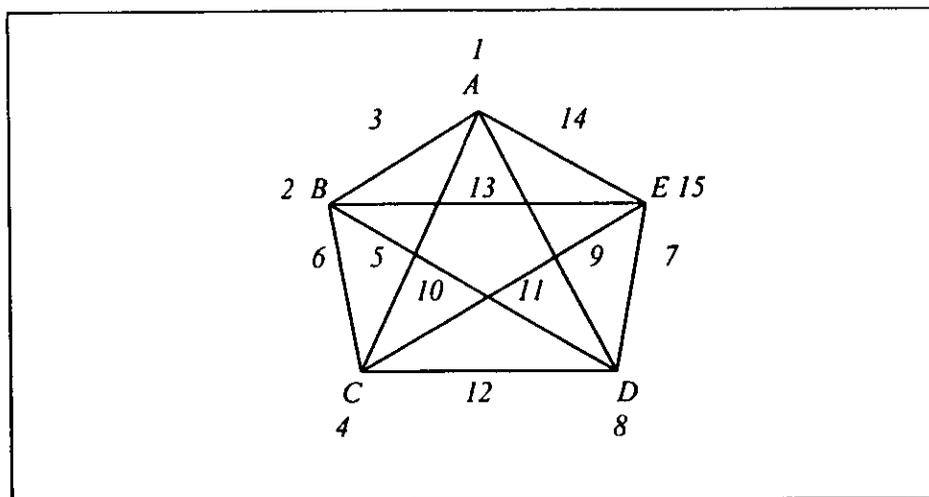


Figura 14. Representación de las variables y sus interacciones.

En el cuadro 13 se observa el arreglo ortogonal L₁₆ seleccionado, en el cual se muestran las variables, interacciones y niveles para cada experimento. Este tipo de arreglos ortogonales ya están establecidos en la bibliografía y dependiendo las variables y requerimientos necesarios para cada experimentación, se puede adaptar.

Cuadro 13. Arreglo ortogonal L₁₆ para la realización de experimentos.

No	A	B	A* B	C	A* C	B* C	D* E	D	A* D	B* D	C* E	C* D	B* E	A* E	E
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Este cuadro fue importante durante la investigación realizada, debido a que nos ayudó para tener un mejor indicador y lograr mejores experimentos.

Estos 16 experimentos fueron realizados para la prueba de impacto con su respectiva evaluación del % de exudados y posteriormente también se realizaron para la prueba de compresión y la evaluación del % de exudados, dando un total de 32 experimentos.

Cuando se llevaron a cabo las actividades previas como lo son: la medición del % de humedad se realizó con la técnica 935.29, la evaluación del % de grasa con la técnica 945.16 y el % de proteína mediante el método de Kjendhal con la técnica 920.87 todas del AOAC DE 1990, se realizaron 3 repeticiones con el fin de obtener resultados confiables.

Cuando se realizó la evaluación de la velocidad de congelación, se hicieron dos repeticiones con la finalidad de observar si el comportamiento era el mismo, además de obtener un tiempo promedio de la duración de la congelación, para los experimentos propuestos en el arreglo ortogonal.

2.3 TECNICAS DE CONTROL

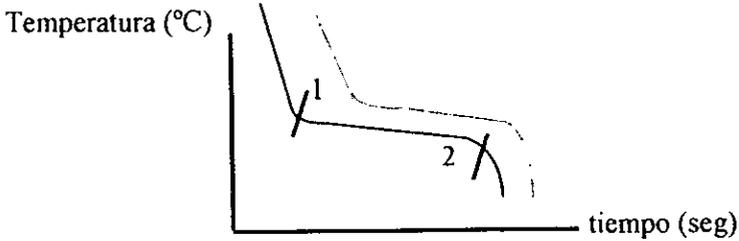
Para las actividades previas como son la determinación del % de humedad, el % de grasa y el % de proteína, los resultados que se obtuvieron fueron tratados estadísticamente por medio del análisis simple de varianza que implica: la media (\bar{x}), desviación standard (s) y por medio del coeficiente de variación (C.V.).

Para la evaluación de la velocidad de congelación el tratamiento de datos fue el siguiente:

Con el termopar insertado en la carne a 0.5 cm y 1 cm de profundidad para los espesores de 1 cm y 2 cm respectivamente se tomaron lecturas cada 10 segundos hasta llegar a la temperatura final de congelación en sus dos niveles mencionados (-25 y -35°C) según el caso. Esto únicamente para la congelación con bióxido de carbono. Se registraron los datos en la siguiente tabla:

Tiempo (segundos)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C) repetición
0	T inicial	T inicial
10		
20		
30		
n	T final de congelación	T final de congelación

Ya realizadas las historias térmicas anteriores se procedieron a realizar la siguiente gráfica con los datos obtenidos:



De aquí se evaluó la velocidad de congelación, la cual se calculó solamente en la parte de la meseta donde se mantiene casi constante (puntos 1 y 2), se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{velocidad de congelación} = \frac{\text{Temperatura final} - \text{Temperatura inicial}}{\text{tiempo}}$$

en donde: T final = a la temperatura que se encuentra el punto 2.

T inicial = temperatura del punto 1

tiempo = que transcurrió del punto 1 al punto 2.

Para determinar la velocidad de congelación con nitrógeno se insertó el termopar en la muestra en el centro geométrico a 0.5 cm y 1 cm de profundidad y se registró la temperatura final y el tiempo transcurrido: Por lo tanto la velocidad de congelación se evaluó de la siguiente manera:

$$\text{velocidad de congelación} = \frac{\text{Temp. final} - \text{Temp. inicial}}{\text{tiempo}}$$

en donde: T inicial = temperatura a la cual se encuentra la carne

T final = temperatura final de congelación en cualquiera de sus

2 niveles (-25 ó -35 °C)

tiempo = transcurrido desde la temperatura inicial hasta la

temperatura final.

No se obtuvieron historias térmicas debido a la rapidez con la cual se congela la muestra.

Para la evaluación del límite de ruptura se siguió la siguiente metodología:

Compresión:

$$\text{límite de ruptura} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

Se obtuvo la lectura del peso mediante el manómetro de la prensa empleada, y en el volumen se implica el espesor de la muestra.

Impacto:

$$\text{limite de ruptura} = \frac{\text{peso} \times \text{altura} \times \frac{\text{gravedad}}{gc}}{\text{volumen}} = \frac{gf}{cm}$$

Se empleó el factor de corrección (gc) de la gravedad para que las unidades sean coherentes. Cabe señalar que éstas unidades se ven afectadas por dicho ajuste, pero también se implicó el volumen.

En la determinación del % de exudados se empleó el método propuesto por Mallikarjunan (1994) que va de la siguiente manera:

$$\% \text{ exudados} = \frac{(\text{peso del papel filtro con jugos} - \text{peso del papel filtro sin jugos}) \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

Con los resultados obtenidos de éstas técnicas se procedió a su análisis mediante el método estadístico denominado ANOVA, con el cual se obtuvieron los resultados del límite de ruptura construyendo los gráficos de pastel observando el porcentaje de contribución.

CAPITULO III
ANALISIS DE
RESULTADOS

III ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. ACTIVIDADES PREVIAS

Para las actividades previas se obtuvieron los siguientes porcentajes de humedad, proteína y grasa, los cuales se comparan con los datos reportados bibliográficamente en el cuadro 14.

Cuadro 14. Datos de la composición de la carne de cerdo.

Componente	Bibliografía ²⁸	Experimental
Agua	72 – 75 %	73.9%
Proteína	18.5 – 19 %	18.8%
Grasa	3 %	2.9%

Como se puede observar los resultados obtenidos experimentalmente caen dentro del rango que determina la bibliografía. Por lo tanto se aseguró que la carne de cerdo en su corte de lomo tiene el menor contenido de grasa como era requerido para la experimentación.

Por lo que se refiere a las actividades para la resolución del objetivo particular I se realizó el estudio de la congelación, ya que en la bibliografía se muestra

que consta básicamente de tres etapas: A) Enfriamiento de agua B) Formación y crecimiento de cristales de hielo C) Enfriamiento de cristales de hielo hasta la temperatura final de congelación, llegando a un equilibrio. Para demostrar lo anterior se llevó a cabo la siguiente actividad.

La carne se dividió en tres zonas en donde los termopares fueron insertados a las siguientes distancias: puesto que la carne media en promedio 9.6 cm de largo, uno se colocó en la superficie, un segundo a 2.4 cm que se consideró el punto intermedio y el último a 4.8 cm en donde estaba el centro geométrico procurando que los tres quedaran alineados y a profundidades de 0.5 cm y 1 cm para los espesores de 1 cm y 2 cm respectivamente. Figura 15.

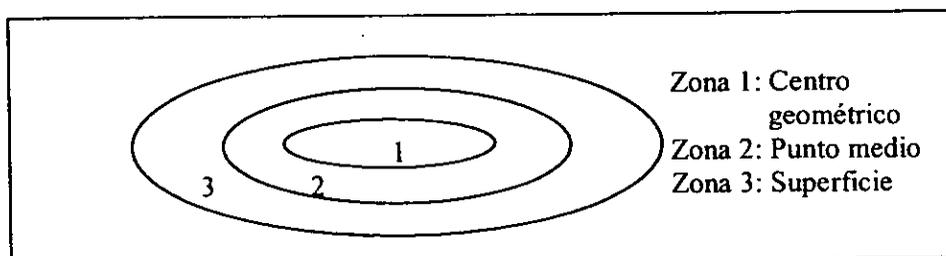


Figura 15. Muestra de la carne como se dividió en 3 zonas.

En estas tres zonas se insertaron los termopares para medir la temperatura, con las cuales se realizaron historias térmicas por separado, figura 16, se elaboró la

En estas tres zonas se insertaron los termopares para medir la temperatura, con las cuales se realizaron historias térmicas por separado, figura 16, se elaboró la gráfica para demostrar que cada zona del alimento tiene diferente velocidad de descenso de temperatura, pero se llega a un equilibrio hacia una misma temperatura final de congelación, lo que es lo mismo el alimento tiene la misma temperatura en todo su cuerpo.

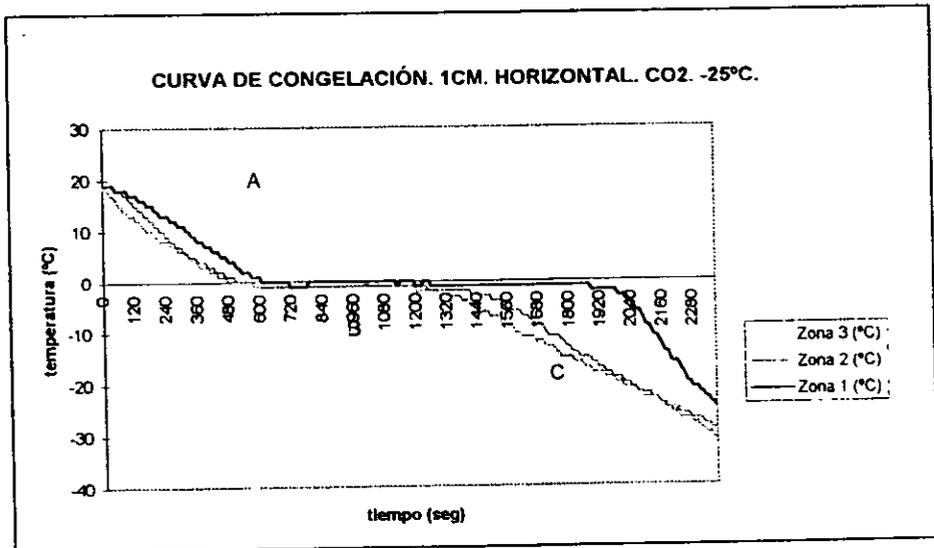


Figura 16. Gráfica obtenida de las historias térmicas de la carne de cerdo.

Se observa en la figura 16 las tres partes básicas de la congelación que son las siguientes:

A) Se observa en la gráfica que la temperatura de la zona 3 desciende rápidamente, seguida por la temperatura de la zona 2. Sin embargo la

temperatura de la zona 1 tarda más en descender demostrando que ese punto es el centro térmico. En esta parte ocurre el enfriamiento de agua contenida en la carne, esto se contrasta con las gráficas de la bibliografía consultada.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- B) La temperatura permanece constante debido a la formación de los primeros núcleos de hielo procediendo a la cristalización de agua libre (agua congelable) en el centro geométrico, ésta parte de la gráfica es más notoria por que existe inestabilidad de los núcleos de cristales de hielo. Por otro lado, en la zona 3 la duración de este período es más corto debido a que se encuentra más próximo al medio congelante.
- C) En ésta parte de la curva se sigue el mismo comportamiento que la primera, en donde la temperatura de la zona 3 es la que desciende más rápido, seguida por la temperatura de la zona 2 notándose que ambas disminuyen su rapidez en el descenso hasta alcanzar la temperatura de la zona 1 o centro geométrico. Aquí ocurre subenfriamiento de cristales de hielo.

Se puede notar que la congelación con CO₂ es una congelación rápida, pero al realizar la gráfica y compararla con la figura 1, presenta un comportamiento

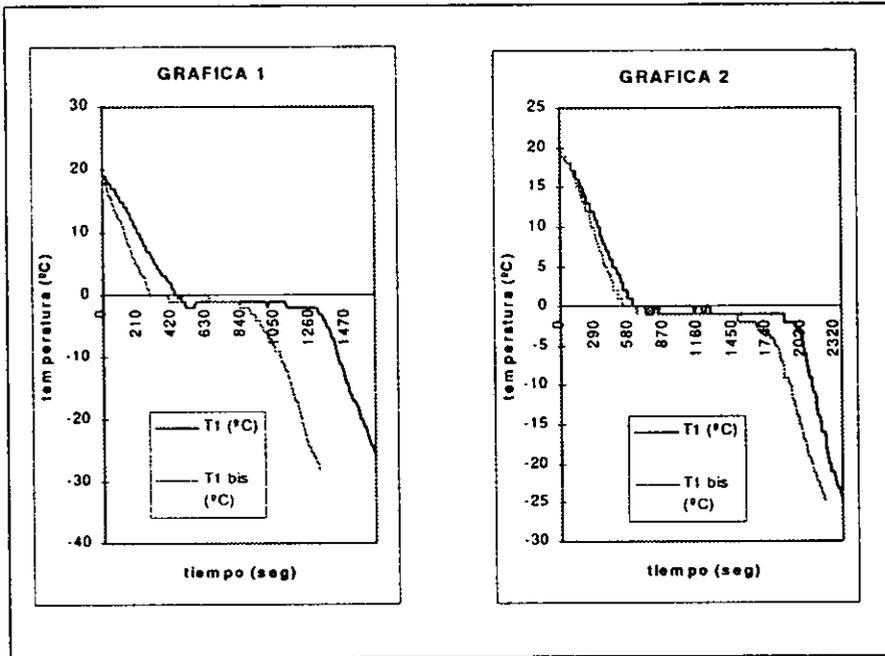
presentan en la figura 2 con la finalidad de estudiar el avance del frente de congelación, el cual se midió en la muestra de 1 cm horizontal y el resultado que se obtuvo fue de 0.32 cm/seg, no hay datos reportados sobre este tema en la bibliografía y es una forma de medir la velocidad de congelación según Girard.

Al analizar este comportamiento de congelación se llegó a la conclusión de que la zona 1 es el punto más caliente de la carne y por lo tanto solo se mide la temperatura en ese punto para las actividades posteriores.

3.2 VELOCIDAD DE CONGELACION

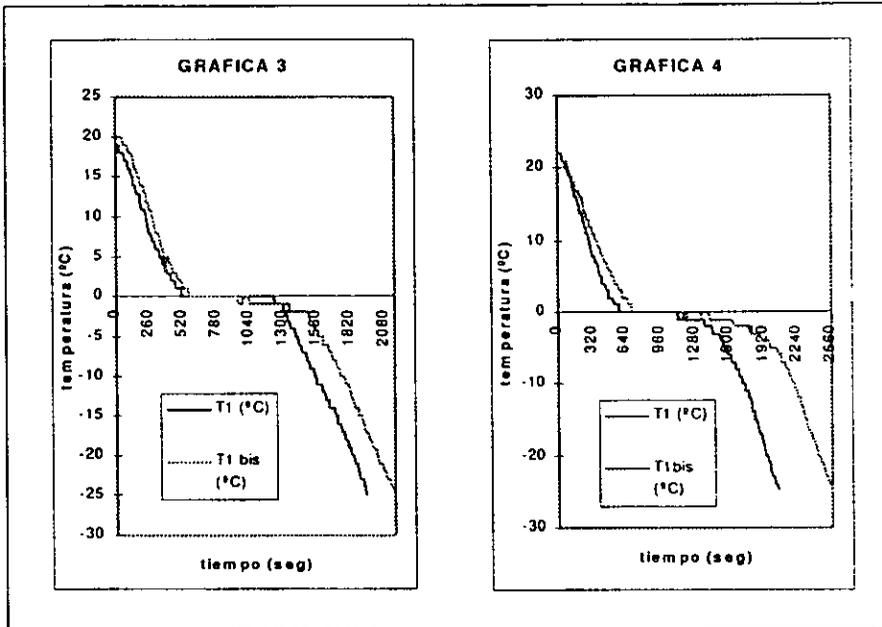
Al analizar las gráficas obtenidas para la velocidad de congelación se tiene que:

Para las gráficas 1 vs 2 se tiene 1 cm de espesor y una temperatura de congelación final de -25°C , siendo la variable la orientación de fibras una vertical, gráfica 1, y otra horizontal, gráfica 2.



Para la gráfica 1 se observa un menor tiempo de congelación mostrándose el sobreenfriamiento de agua por abajo de su punto inicial de congelación, el cual es de -1.2°C .²⁷ Para la gráfica 2 se tiene menor tiempo en el periodo de nucleación, la variación que se presenta durante la meseta de la curva se debe a que la fibrilla de la carne esta cubierta por el endomisio el cual representa una resistencia al flujo de calor.

Para las gráficas 3 vs 4 se tiene 2 cm de espesor a una temperatura final de congelación de -25°C , siendo la variable la orientación de fibras una vertical, gráfica 3, y la otra horizontal, gráfica 4.



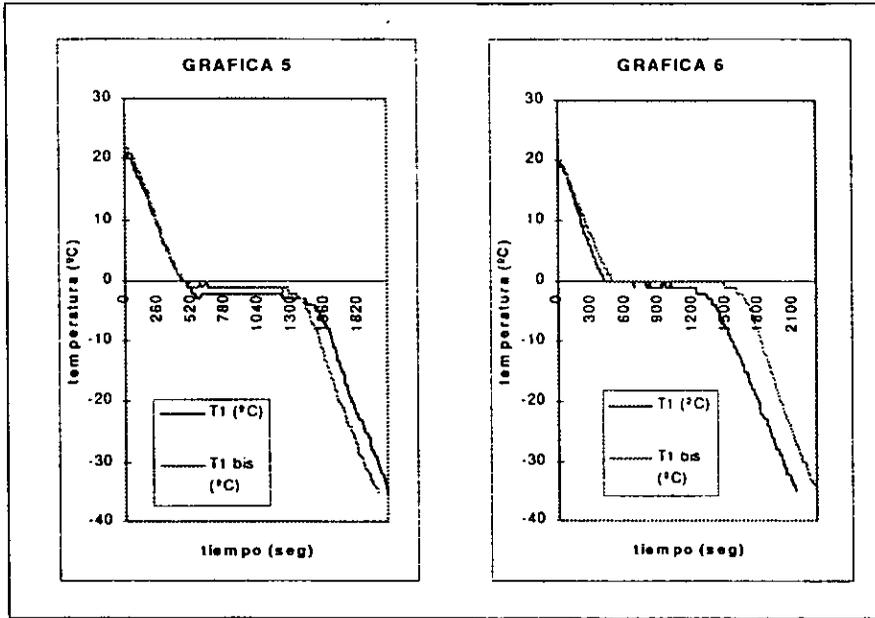
En la gráfica 3 no se muestra el sobreenfriamiento de agua debido a que la eliminación del calor latente es muy rápida. El periodo de nucleación es mayor y el comportamiento es mas parecido entre si. En la gráfica 4 se aprecia la variación ocurrida durante la meseta (periodo de nucleación y formación de cristales de hielo).

Haciendo un contraste entre las gráficas 1,3 vs 2,4 siendo las primeras de 1 cm y 2 cm de espesor con orientación de fibras verticales, y las segundas de 1 cm y 2 cm de espesor con orientación de fibras horizontales todas con una temperatura final de congelación de -25°C se observa que:

Verticales. El periodo de nucleación es más largo en la gráfica 1 de 1 cm de espesor que en la gráfica 3 con espesor de 2 cm el tiempo de congelación es mayor, debido al contenido de masa de carne.

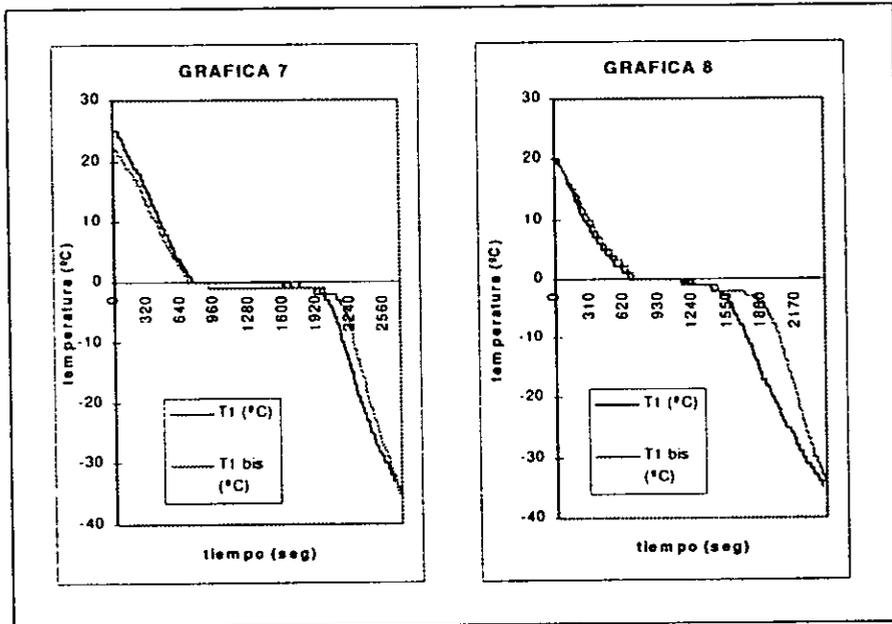
Horizontales. En ambos espesores se muestra la variación durante la nucleación y formación de cristales de hielo. En la gráfica 4 la repetición muestra un descenso paulatino que presenta una gráfica más curva, aquí también se observa el periodo de nucleación más corto.

Para las gráficas 5 vs 6 se tiene 1 cm de espesor y una temperatura final de congelación de -35°C , siendo la variable la orientación de fibras: una vertical, gráfica 5 y otra horizontal gráfica 6.



La gráfica 5 presenta el sobreenfriamiento del agua por debajo de su punto inicial de congelación, mostrando un menor tiempo de congelación. En la gráfica 6 se observa un tiempo mayor durante la nucleación y formación de cristales de hielo, presentando aquí la variación de la temperatura por la resistencia que presenta el endomisio debido a la orientación de fibras que en este caso son las horizontales.

Para las gráficas 7 vs 8 se tiene el espesor de 2 cm y la temperatura final de congelación de -35°C , siendo la variable la orientación de fibras: una vertical, gráfica 7, y otra horizontal, gráfica 8.



Para la gráfica 7 se puede observar un mayor tiempo en la nucleación, las dos muestras alcanzan la misma temperatura final de congelación al mismo tiempo. Y en la gráfica 8 el tiempo de congelación es menor y se observan muy pocas variaciones de la temperatura en la nucleación.

Por último se realizó el análisis de las gráficas con orientación de fibras vertical, gráficas 5 y 7, contra las gráficas con orientación de fibras horizontal, gráficas 6 y 8.

Verticales. En los dos espesores las dos muestras casi alcanzan al mismo tiempo la temperatura final de congelación pero mostrando un mayor tiempo de congelación en la gráfica 7.

Horizontales. El tiempo de nucleación es menor en los dos espesores, en la gráfica 6 con espesor de 1 cm se observa un menor tiempo de congelación.

Como se puede observar todas las gráficas siguen un comportamiento similar al marcado por Fellows, en el cual se establecen tres etapas: A) En donde se da el enfriamiento del agua, B) Se presenta la formación y crecimiento de cristales de hielo (zona critica) y C) Subenfriamiento de cristales de hielo.

Después de realizar el análisis de las gráficas, con sus diferentes comportamientos, las cuales ayudaron a obtener el tiempo requerido para la congelación de cada muestra, por que no se podía insertar el termopar, ya que este produce un daño irreversible en la estructura y no sería posible apreciar las fisuras para los posteriores experimentos. A continuación se presenta el cuadro 15 de velocidades y tiempos de congelación para cada muestra congelada con CO₂.

Cuadro 15. Velocidades de congelación en carne de cerdo con CO₂.

Espesor (cm)	Orientación de fibras	Temp. Final de cong. (°C)	Vel. de cong. (°C/min)	Tiempo de cong. (min)
1	vertical	-25	0.261	24.10
2	vertical	-25	0.200	34.10
1	vertical	-35	0.228	33.20
2	vertical	-35	0.151	44.20
1	horizontal	-25	0.157	33.15
2	horizontal	-25	0.209	88.25
1	horizontal	-35	0.143	37.10
2	horizontal	-35	0.203	40.30

La velocidad de congelación se evaluó solamente durante el periodo de nucleación y formación de cristales de la gráfica, ya que se considera la fase crítica de la congelación.

Como se puede observar, en el cuadro 15, la muestra que presenta una mayor velocidad de congelación es la de 1 cm vertical con una temperatura final de congelación de -25°C , esto se puede deber a que el centro geométrico de la muestra se encuentra más próximo al medio congelante existiendo una separación de aproximadamente 0.2 cm a la placa. Las muestras de 2 cm presentan mayor tiempo de congelación, mientras que en general para todas las muestras horizontales se tiene un mayor tiempo de congelación debido a que el endomisio que rodea a las fibras de la carne representa una resistencia a la transferencia de calor y para las muestras verticales gran parte de dicho endomisio se encuentra roto debido al corte.

Las muestras verticales presentan una velocidad de congelación mayor, solamente la muestra horizontal de 2 cm de espesor con una temperatura final de congelación de -35°C presenta una velocidad de congelación menor esto se puede deber a que la masa de CO_2 ya se había reducido al trabajar las muestras verticales, por lo que no se dio una buena transferencia de calor.

Por lo que se refiere a la congelación con N₂ no se obtuvieron historias térmicas y no se pudieron construir gráficas debido a que la congelación es extremadamente rápida. Se presenta el cuadro 16 con las velocidades de congelación de N₂.

Cuadro 16. Velocidades de congelación en carne de cerdo con N₂.

Espesor (cm)	Orientación de fibras	Temp. Final de cong. (°C)	Vel. de cong. (°C/min)	Tiempo de cong. (seg)
1	vertical	-25	204	13.72
2	vertical	-25	101	28.00
1	vertical	-35	35.4	103.13
2	vertical	-35	29.4	122.84
1	horizontal	-25	95.4	29.00
2	horizontal	-25	34.2	76.89
1	horizontal	-35	45.6	74.79
2	horizontal	-35	35.4	97.37

Para determinar la velocidad de congelación se tomó la temperatura inicial de la muestra hasta la temperatura final de congelación requerida (-25 ó -35°C) entre el tiempo que tardó en este proceso.

En el cuadro 16 se observa que para las muestras verticales, la velocidad de congelación es más rápida para aquellas en donde la temperatura final de congelación fue de -25°C, ya que experimentalmente su descenso era muy rápido hasta -20°C, a partir de aquí disminuye un poco su velocidad, debido a

que el nitrógeno forma una capa gaseosa entre el baño y el alimento lo que retarda los intercambios térmicos.¹⁰ Para las muestras con temperatura final de congelación de -35°C se observó que tarda aun más en alcanzar la temperatura requerida, además que al sacar la muestra del baño se llegaron a registrar temperaturas de -85°C .

En estas muestras se aprecia que las de 2 cm de espesor se tardan más tiempo en llegar a la temperatura final de congelación, esto se debe al espesor y que el frente de congelación se tarda un poco más, y en general no se nota un comportamiento definido ya que se obtuvieron diferentes tiempos de congelación, se puede concluir que el nitrógeno entra en contacto con la carne y no importa que el endomisio se encuentre roto o no, porque no representa una resistencia a la transferencia de calor.

Para las muestras horizontales se tiene que el espesor de 1 cm presenta mayor velocidad de congelación que las de 2 cm debido al espesor, es decir, la muestra es más pequeña por lo tanto el flujo de calor se da con mayor facilidad.

3.3 LIMITE DE RUPTURA Y % DE EXUDADOS

Para cumplir con el resto del estudio se lleva a cabo el análisis del límite de ruptura por compresión (L.R.C.), con los resultados obtenidos en la experimentación, cuyas unidades son kg/cm^3 , las muestras empleadas para esta parte del estudio también se ocuparon para medir el porcentaje de exudados (% Ex.) una vez terminado el estudio del límite de ruptura. Para la descongelación (Desc.) se empleó un horno de microondas en el cual se manejaron dos potencias, de las diez con que cuenta, las cuales fueron: a) potencia 1 = 72 W y b) potencia 5 = 360 W, siendo el tiempo de descongelación para las dos potencias variable debido a que no se descongelaban al mismo tiempo.

También se realizó el análisis de límite de ruptura por impacto (L.R.I.) cuyas unidades son gr/cm^2 , con el respectivo estudio de % de exudados. Para ambos estudios de compresión e impacto se utilizaron muestras de carne con orientación de fibras (O.F.) verticales y horizontales con espesores (Esp.) de 1 y 2 cm. Empleándose los dos métodos de congelación (M. C.) siendo por

contacto directo CO₂ y por inmersión N₂; empleando las temperaturas finales de congelación (Tem.) de -25 y -35°C.

A continuación se presenta el cuadro 17 en donde se muestra los valores obtenidos experimentalmente de las pruebas antes mencionadas y con los cuales se llevó a cabo el análisis estadístico.

Cuadro 17. Variables de respuesta obtenidas del estudio de compresión e impacto con sus respectivos % de exudados.

Exp.	O. F.	Esp.	M. C.	Tem.	Desc.	L.R.C.	% Ex.	L.R.I.	% Ex.
1	vert.	1	CO ₂	-25	1	2.88	2.54	382.5	4
2	vert.	2	CO ₂	-25	5	7.93	1.41	250	1.74
3	vert.	1	CO ₂	-35	5	2.10	5.27	421	3.13
4	vert.	2	CO ₂	-35	1	1.57	1.15	250	1.77
5	vert.	1	N ₂	-25	5	9.55	3.00	1592	8.65
6	vert.	2	N ₂	-25	1	5.17	0.48	1193	2.95
7	vert.	1	N ₂	-35	1	9.55	2.14	1592	1.68
8	vert.	2	N ₂	-35	5	6.76	2.71	1193	3.84
9	hor.	1	CO ₂	-25	5	14.88	5.12	1111	3.55
10	hor.	2	CO ₂	-25	1	1.66	1.50	626.9	0.72
11	hor.	1	CO ₂	-35	1	1.75	3.34	1234	1.26
12	hor.	2	CO ₂	-35	5	1.71	2.06	612.2	1.24
13	hor.	1	N ₂	-25	1	9.55	2.33	1592	1.67
14	hor.	2	N ₂	-25	5	6.76	3.62	1193	5.48
15	hor.	1	N ₂	-35	5	13.53	6.44	1592	5.03
16	hor.	2	N ₂	-35	1	8.75	1.36	1592	1.22

Estos resultados se trataron por medio del método estadístico ANOVA (ver anexo B) de los cuales se obtuvo lo siguiente.

A) LIMITE DE RUPTURA POR COMPRESION

Los experimentos realizados por este estudio indican que todas las variables influyen en los resultados, las cuales son: A) orientación de fibras, B) técnica de congelación, C) temperatura final de congelación, D) espesor de la muestra y E) potencia de descongelación. A continuación se muestra el gráfico de pastel en el cual se observa el % de influencia de cada variable y también se muestran las interacciones que hay entre cada variable, figura 17.

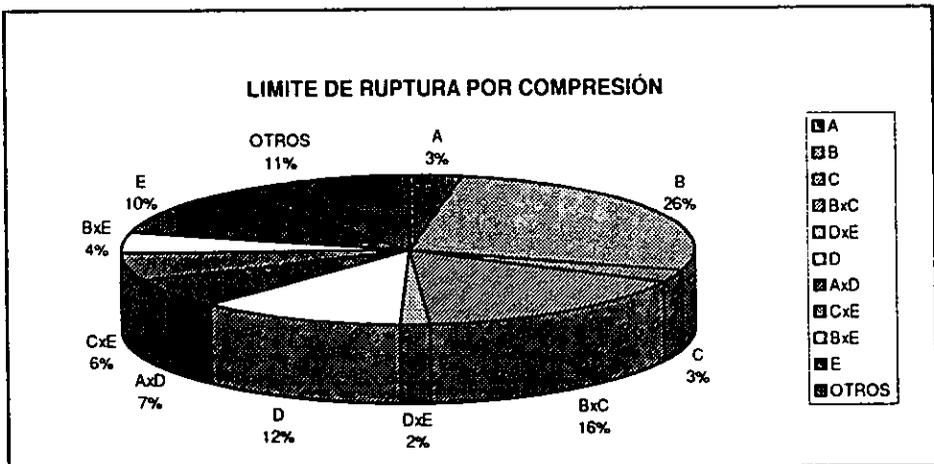


Figura 17. Por ciento de contribución determinado en función de la tabla ANOVA, límite de ruptura por compresión.

En esta gráfica se observa que la variable que más influencia tiene es la técnica de congelación con 26% en el nivel 2 siendo el nitrógeno, demostrándose que es el método más efectivo como se menciona en el capítulo 1, el inconveniente es el control de temperatura por que al realizarse las pruebas para determinar el tiempo de congelación, en algunas ocasiones se llegó a observar que la temperatura descendía muy por debajo de la requerida.

La otra variable que tiene influencia con un 12 % es el espesor en el nivel 1 el cual es de 1 cm, lo que parece aceptable ya que al tener menor masa en contacto con el nitrógeno se congela más rápidamente y en forma homogénea, alcanzando la temperatura en el centro geométrico.

De acuerdo con los resultados estadísticos y con el criterio mayor es mejor los niveles óptimos a trabajar para esta prueba son:

Variable	Nivel	Condición
Orientación de fibras	2	horizontal
Técnica de congelación	2	N ₂
Temp. de congelación	1	-25°C
Espesor	1	1 cm
Descongelación	2	potencia 5

Contrastando con los experimentos del arreglo ortogonal L₁₆ se observa que el experimento número 13 cumple con las condiciones a excepción de la potencia de descongelación, esto es despreciable, ya que en el estudio del límite de ruptura no se emplea la descongelación, aquí se observó que la fuerza aplicada a la carne producía un alargamiento hasta escuchar la ruptura, si se pudieran graficar los datos, ésta gráfica se podría comparar con la figura 7 en donde el punto de la gráfica que desciende drásticamente sería el equivalente a donde se escuchó la ruptura, a lo que se le llama punto o límite de ruptura.

Por lo que se refiere a la medición de exudados. Se muestra el gráfico de pastel en donde se observa el % de influencia de las variables y las interacciones entre estas. Figura 18.

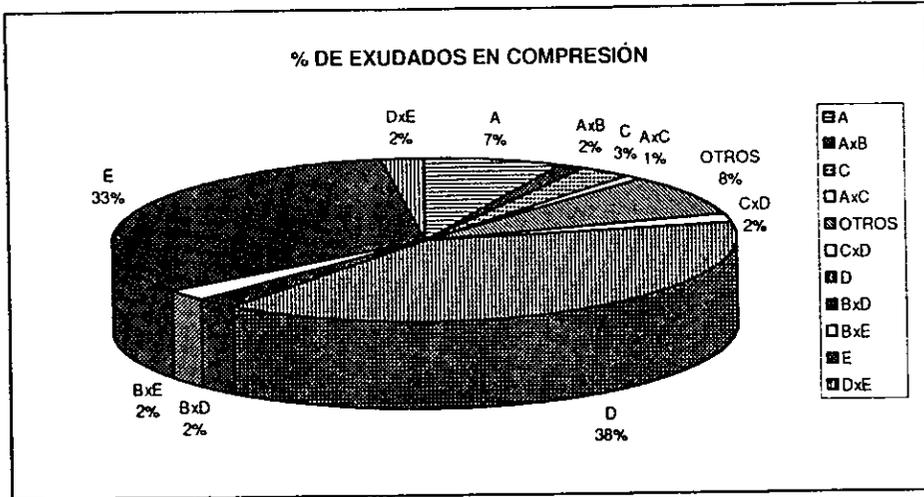


Figura 18 Por ciento de contribución determinado en función de la tabla ANOVA, exudados en compresión.

Se observa que las variables con mayor influencia para este estudio son: espesor con 38% y la descongelación con 33%, siendo la variable sin influencia la técnica de congelación.

Las variables que afectan al % de exudados son el espesor de 1 cm y la potencia del horno de microondas, utilizándose la alta, lo que ayuda a la rapidez de la descongelación y a la menor cantidad de masa de carne, provocando una mayor liberación de jugos y al realizarle la prueba de % de exudados en 1 minuto no permite la reabsorción de los mismos.

Conforme a los resultados estadísticos obtenidos y con el criterio de mayor es mejor, los niveles óptimos para realizar la prueba de % de exudados en compresión son:

Variable	Nivel	Condición
Orientación de fibras	2	Horizontal
Temp. de congelación	2	-35°C
Espesor	1	1 cm
Descongelación	2	Potencia 5

Contrastando las condiciones anteriores con el arreglo ortogonal L_{16} se tiene que dos experimentos cumplen con estas condiciones, el número 11 y el 15, la diferencia entre estos es el método de congelación, siendo con CO_2 y N_2 respectivamente, pudiéndose emplear cualquiera, ya que en las condiciones anteriores el método de congelación no tiene influencia. Para nuestro criterio esto no es conveniente ya que al tener dos técnicas de congelación, se tienen diferentes tamaños de cristal, siendo con CO_2 más grandes y con N_2 más pequeños, teóricamente debido a las velocidades de congelación. Lo anterior nos lleva a una posible ruptura celular y por consiguiente a una mayor exudación de jugos.

De acuerdo a las condiciones obtenidas para cada prueba estudiada anteriormente se llegó a la conclusión de que los niveles y condiciones presentadas son las óptimas para ambos estudios y poder realizar un solo experimento.

Variable	Nivel	Condición
Orientación de fibras	2	Horizontal
Técnica de congelación	2	N ₂
Temp. de congelación	2	-35°C
Espesor	1	1 cm
Descongelación	2	Potencia 5

Durante la experimentación se observó que en los cortes manejados con orientación de fibras horizontal; las fisuras presentadas después de la compresión eran más visibles.

Al realizar la congelación con N₂ se ocupa menos tiempo, y cuando se emplea la prensa el corte se realiza mejor con una temperatura de congelación de -35°C y un espesor de 1 cm; para la prueba del % de exudados, cuando se ocupaba una descongelación rápida la cantidad de jugos fue representativa.

Conforme al arreglo ortogonal L₁₆ se observa que el experimento número 15 se realizó bajo estas condiciones y se obtuvo un límite de ruptura de 13.5350 kg/cm³ y un % de exudados de 6.44%.

B) LIMITE DE RUPTURA POR IMPACTO

En el estudio del límite de ruptura por impacto se emplearon los mismos experimentos con las mismas variables del arreglo ortogonal L₁₆ empleado para compresión. Las variables que no influyen en este estudio son la temperatura de congelación y la descongelación; siendo la variable de mayor influencia la técnica de congelación con 65% como se muestra en la figura 19 del gráfico de pastel.

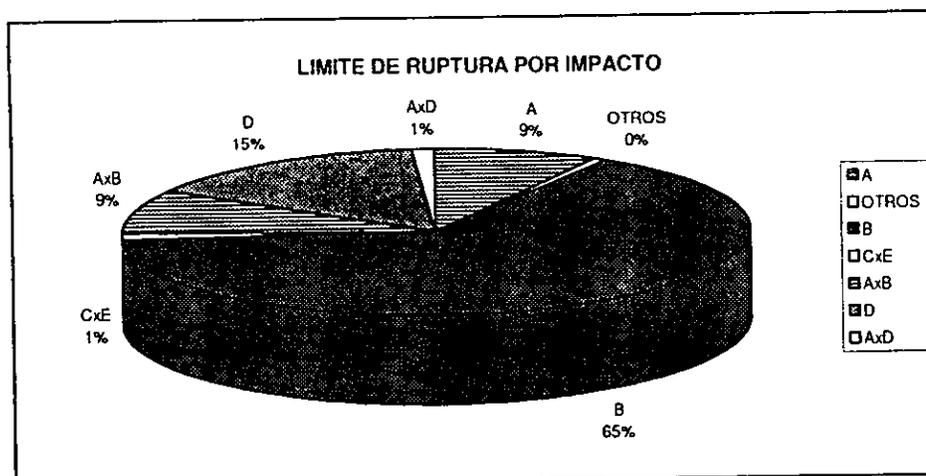


Figura 19. Por ciento de contribución determinado en función de la tabla ANOVA, límite de ruptura por impacto

Como se observa en el gráfico la técnica de congelación es de vital importancia para la realización de esta prueba, seguido por el espesor y por la orientación de fibras, las cuales son las únicas variables que influyen en este estudio.

Los niveles óptimos de las variables que si influyen en el límite de ruptura por impacto de acuerdo con el análisis estadístico y con el criterio de mayor es mejor es el siguiente:

Variable	Nivel	Condición
Orientación de fibras	2	horizontal
Técnica de congelación	2	N ₂
Espesor	1	1 cm

Se hace referencia al espesor de 1 cm, ya que a menor cantidad de masa la fuerza requerida para la fractura es equivalente, al realizar los experimentos algunas muestras verticales presentaban fisuras y las horizontales se rompían por completo, debido a que la ruptura se producía por la separación de las fibras musculares, mientras que en el corte vertical sólo se aplastaban.

Contrastando con el arreglo ortogonal L₁₆, se observó que los experimentos que cumplen con las condiciones anteriores son el número 13 y el 15, descartando la temperatura de congelación que es diferente en ambos experimentos.

Las muestras empleadas en la prueba anterior de límite de ruptura se les llevó a cabo el análisis de % de exudados, empleando estos para el análisis estadístico ANOVA, se presenta la figura 20, el gráfico de pay con los porcentajes de influencia de cada variable.

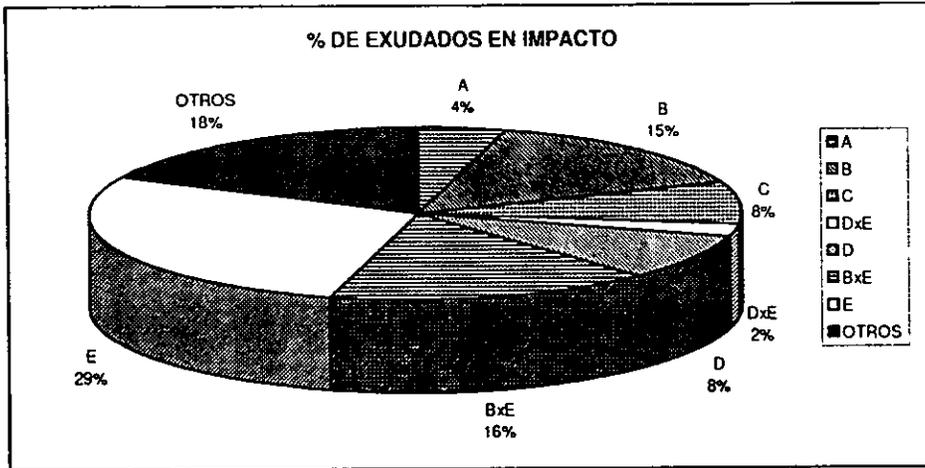


Figura 20. Por ciento de contribución determinado en función de la tabla ANOVA, para exudados en impacto.

Se observa en la figura anterior que todas las variables tienen influencia, pero la que presenta un mayor porcentaje es la descongelación lo que se debe a la rapidez de absorción de jugos.

Los niveles obtenidos del análisis estadístico para el % de exudados en impacto y bajo el criterio de mayor es mejor son los siguientes:

Variable	Nivel	Condición
Orientación de fibras	1	vertical
Técnica de congelación	2	N ₂
Temp. de congelación	1	-25°C
Espesor	1	1 cm
Descongelación	2	potencia 5

Todas las variables influyen aunque no en la misma proporción. El % de exudados obtenidos fueron mayores, en general, para esta parte del estudio que para el estudio de compresión debido a que la técnica empleada daña más la estructura de la muestra. Contrastando con el arreglo ortogonal L₁₆ se observa que el experimento número 5 cumple con estos requerimientos, obteniendo un valor de 8.65%

Las mejores condiciones para obtener un límite de ruptura y un % de exudados óptimo mediante la prueba de impacto son:

Variable	Nivel	Condición
Orientación de fibras	2	Horizontal
Técnica de congelación	2	N ₂
Temp. de congelación	1	-25°C
Espesor	1	1 cm
Descongelación	2	Potencia 5

Al hacer el contraste con el arreglo ortogonal L₁₆ se observa que el experimento número 13 cumple con parte de las condiciones requeridas con excepción del nivel de descongelación.

Como un análisis final cabe notar que existe una similitud entre las condiciones a utilizar, para las pruebas de compresión e impacto, como los son: orientación de fibras, técnica de congelación, espesor y descongelación; la que muestra una variante es la temperatura final de congelación.

CONCLUSIONES

1.- La congelación con CO₂ presenta la tendencia de la curva de congelación lenta, dividida en 3 etapas como son: enfriamiento de agua, nucleación y cristalización y subenfriamiento de los cristales de hielo llegando a un equilibrio de temperaturas hacia el final de la congelación. El avance del frente de congelación se da de la superficie hacia el punto más caliente de la carne.

2. - El nitrógeno puede presentar una curva de congelación rápida pero no se pudo obtener una historia térmica para representar la curva debido a la duración de la congelación. Existen termopares que pueden ser conectados a una computadora, pero el rango de tiempo de la toma de temperatura es de un minuto, siendo que la congelación se da en segundos.

3. - Una de las ventajas de trabajar con nitrógeno es que no importa la orientación de fibras, ya que la congelación es tan rápida que el endomisio que cubre a las fibras de la carne no representa ninguna resistencia, por el contrario ocurre con la congelación con CO₂.

4. - Para congelar con nitrógeno se recomienda utilizar aspersores para un mejor control de temperatura de congelación y se pueda controlar el consumo del mismo. Es más económico emplear nitrógeno debido al costo que es de \$5.00 por litro, además que tiene un buen rendimiento y su almacenamiento es más duradero, los tiempos de congelación se reducen considerablemente. No se requiere de una gran instalación de equipos, se puede trabajar en un túnel con banda sin fin y la instalación de los aspersores.

5. - Por lo que se refiere al límite de ruptura sugerimos emplear fuerzas de impacto para una molienda ya que con ésta se fractura más fácilmente sin obtener una gran cantidad de exudados, debido a la velocidad de congelación que proporciona un menor tamaño de cristal, pudiéndose emplear cortes horizontales de 1 cm de espesor.

6.- Se comprobó que la congelación realizada con nitrógeno líquido por inmersión produce un tamaño de cristal pequeño, que los que se producen con la congelación por contacto con placas con bióxido de carbono, ya que la velocidad de congelación es muy rápida y esto permite que el agua congelable no migre al exterior de las células formándose pequeños núcleos y por consiguiente cristales diminutos, que al descongelarse no dañan los tejidos de la carne y la exudación de jugos no supera el 1%.

RECOMENDACIONES

1. La fuerza requerida para la ruptura en el estudio de límite de ruptura por impacto fue de 250 hasta 1592 gf/ cm², dependiendo del tamaño y tipo de congelación, además de que las fisuras fueron más visibles. Con esto se recomienda la utilización de un molino de martillos el cual emplea como principio la fuerza de impacto. Por lo que se refiere a los cortes de carne, orientación de fibras, es indistinto, ya que al molerla el acomodo es aleatorio y no se puede asegurar que las fibras musculares queden de orientación vertical u horizontal.
- 2.- Una alternativa innovadora es el caso de la criomolienda ya que emplea la congelación de los alimentos y su posterior molienda, inyectando nitrógeno líquido al molino con la finalidad de conservar la temperatura de congelación disminuyendo así la pérdida de componentes (volátiles y vitaminas principalmente), obteniendo como resultado un producto con gran sabor y de calidad inmejorable. Se pudo observar que en los artículos consultados se menciona el equipo a emplear, son los molinos normales con una pequeña modificación para colocar los inyectores de nitrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. - ALARCON, C. J., (1981). "Tratado práctico de refrigeración automática".
Ed. Publicaciones Marcombo S.A. 9a.ed. México.
2. - ANONIMO 1. (1995). "cryogenic freezing" food engineering international
Vol. 20 No. 1 Chilton Publications.
3. - ANONIMO 2 "Cryogenic freezing". Food freezing: today and tomorrow.
1991. London.
4. - ANONIMO 3 "Freezers recycle gas exhaust cut energy costs". Agosto
1990. Vol.62. N°8.
5. - ASKELAND, D. R., (1987). "La ciencia e ingeniería de los materiales".
Gpo. Editorial Iberoamérica. México.
6. - BADGER, W. L., BANCHERO, J.T., (1970). "Introducción a la
ingeniería química". Ed. McGraw Hill. México.
7. - BATTY, J. C., FOLKMAN, S. C., (1989). "Fundamentos de la ingeniería
de los alimentos". Cía. Editorial Continental S. A. de C. V.
México.
8. - BERK, Z., (1980). "La bioquímica de los alimentos". Ed. Manual
Moderno

9. - BRENNAN, J. G., DUTTERS, J. R., COWELL, N. D., LILLY, A. E. (1980). "Las operaciones de ingeniería de los alimentos". Ed. Acribia. 2a ed. Zaragoza España.
10. - CHEFTEL, J. C., CHEFTEL, H., BESANCON, P.(1989). "Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos". Vol.2. Ed. Acribia Zaragoza España.
11. - COLLIN, D., (1977). "La carne y el frío: producción, transformación y comercialización". Ed. Paraninfo. Madrid, España.
12. - COX, P. M., (1987). "Ultracongelación de los alimentos. Guía de la teoría y práctica". Ed. Acribia. Zaragoza, España.
13. - DESROSIER, N.W., (1987). "Elementos de la tecnología de los alimentos". Cía. Editorial Continental S. A. de C. V. México.
14. - EARLE, R. L. (1979). "Las aplicaciones básicas aplicadas a la tecnología de los alimentos". Ed. Acribia. Zaragoza España.
15. - FELLOWS, P., "Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas". Ed. Acribia. Zaragoza, España.
16. - FLINN, R. A. (1979). "Materiales de ingeniería y sus aplicaciones". McGraw - Hill. México.
17. - GIRARD, J. P. "Tecnología de la carne y de los productos carnicos". Ed.

Acribia. Zaragoza, España.

18. - GUY, A. G. (1980). "Fundamentos de la ciencia de los materiales".

McGraw - Hill. México.

19. - HUI, Y. H. (1992). "Enciclopedia of food science and technology".

Vol.4. Jhon Wiley & Sons Inc. USA.

20. - LAGE, S. J. (1989). "Panorama sistemático de las aplicaciones de la

tecnología de bajas temperaturas a los alimentos". UNAM

México.

21. - LEWIS, M. J. (1993). " Propiedades físicas de los alimentos y de los

sistemas de procesado". Ed. Acribia. Zaragoza España.

22. - LONCIN, M. (1965). "Técnica de la ingeniería alimentaria". Ed. Dossat

S. A. Madrid España.

23. - MACRAE, R, ROBINSON, R.K., SADLER, M.J."Spices and flavouring

crops". Encyclopedia of food science, food technology and

nutrition. 1993. Vol.7. Academic press. U.K.

24. - MADRID, A., GÓMEZ, J., SANTIAGO, F., MADRID, J. M. (1994).

"Refrigeración, congelación y envasado de los alimentos". AMV.

Ediciones. Madrid España.

25. - MALLET, C. P., "Frozen food technology". Blackie Academic & Prof.

26. - MARTI, J, AGUILERA J.M. "Efecto de la velocidad de congelación en las características mecánicas y microestructurales del arándano y la mora silvestre". Revista de agroquímica y tecnología de alimentos. Diciembre 1991. Vol. 31. N°4.
27. - MELENDEZ, P. R. "Carne". Tesis en trámite para obtener el postgrado de Maestra en Ciencias. 1998. UNAM.
28. - MENGANA, C. (1981). "Bioquímica de la carne". Ed. Oriente. Cuba.
29. - MONGENS, J. (1984). "The quality of frozen foods". Academic Press. London.
30. - MORRIS, C.E. "New systems offers flexible freezing". Food engineering. Febrero 1995. Vol.67. N° 2.
31. - MULLER, H. G. (1973). "Introducción a la reología de los alimentos". Ed. Acribia. Zaragoza España.
32. - NASH, W. A. (1991). "Resistencia de materiales". McGraw - Hill. México.
33. - PESCHARD, E. (1979). "Resistencia de materiales". UNAM.
34. - POTTER, N. (1978). "La ciencia de los alimentos". Ed. Harla. México.
35. -SANCHEZ, M.T."Food Texture: Concept and Measurement".

Alimentaria. Mayo 1996. Vol.34. Nº 272.

36. - SANCHEZ, M.T. HERMIDIA, J.R. CANO, G. TORRALBO, F.

“Influencia del proceso de congelación sobre la textura del espárrago blanco. Efecto del escaldado y la velocidad de congelación”. Alimentaria. Abril 1994. Vol. 31. Nº251

37. - SINGER, F. L. “Resistencia de materiales”. Harla Harper & Raw. 3ª ed.

México.

38. - TIMOSHENKO. (1967). “Resistencia de los materiales”. Ed. Espasa

- Calpe Madrid. Vol. 2.

39. -VILLANUA, F. L. (1990). "Alimentos congelados: procesado y distribución". Ed. Acribia. Zaragoza España.

ANEXO A

ANALISIS ESTADISTICO PARA EL DISEÑO
EXPERIMENTAL PROPUESTO

- 1) Del arreglo ortogonal L_{16} cuales fueron los factores y las interacciones para los diferentes niveles de variación

Factor	Nivel 1	Nivel 2
A	ΣX_{A1}	ΣX_{A2}
B	ΣX_{B1}	ΣX_{B2}
C	ΣX_{C1}	ΣX_{C2}
D	ΣX_{D1}	ΣX_{D2}
E	ΣX_{E1}	ΣX_{D2}

- 2) Calcular los totales por nivel

$$X_{T1} = X_{A1} + X_{B1} + \dots + X_{E1}$$

$$X_{T2} = X_{A2} + X_{B2} + \dots + X_{E2}$$

3) Calcular la gran total

$$X_{TT} = X_{T1} + X_{T2}$$

4) Calcular la suma de cuadrados

$$S_A = (((X_{A1})^2 + (X_{A1})^2 / N)) - (X_{TT})^2 / N_T$$

donde: N = número de experimentos por nivel

N_T = número total de experimentos

5) Calcular suma de cuadrados de las interacciones

$$S_{AB} = (((X_{AB11})^2 + (X_{AB12})^2 + (X_{AB21})^2 + (X_{AB22})^2) / N_A) - (X_{TT})^2 / N_T$$

donde: N_A = número de experimentos por subnivel

6) Construir tabla de ANOVA

7) Descartar los factores y/o interacciones que en por ciento de participación se encuentren con valores inferiores al 1%

8) Realizar la sumatoria de las sumas de los cuadrados de los factores eliminados y sus grados de libertad

9) Calcular el cuadrado medio de los factores eliminados con la ecuación:

$$CM \text{ FACT. ELIM.} = SC \text{ FACT. ELIM.} / g_i \text{ FACT. ELIM.}$$

10) Calcular F

$$F = CM \text{ FACTOR} / CM \text{ FACT. ELIM.}$$

11) Recalcular % de participación

$$\% = (\text{CM FACTOR} - \text{CM FACT. ELIM}) / \text{ST}$$

12) Buscar en tablas el valor de f al 95% con el gl factor y gl factores eliminados