



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**EFFECTO DE LA CONGELACIÓN-
COCCIÓN EVALUADO EN ATRIBUTOS
DE CALIDAD EN CARNE DE CERDO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA

ERNESTO FLORES ALVARADO

**ASESOR: DRA. ROSALÍA MELÉNDEZ PÉREZ
COASESOR: DRA. ADRIANA LLORENTE
BOUSQUETS**

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉX. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

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

Efecto de la congelación-cocción evaluado en atributos de calidad de carne de cerdo

Que presenta el pasante: Ernesto Flores Alvarado
Con número de cuenta: 406093125 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Agosto de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Rosalía Meléndez Pérez	
VOCAL	Dra. Carolina Moreno Ramos	
SECRETARIO	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
1er. SUPLENTE	I.A. María Guadalupe López Franco	
2do. SUPLENTE	M. en C. Juana Gutiérrez Bautista	

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

HMI/iac

Agradecimientos

Antes que nada quisiera agradecer a **Dios y la Virgen de Guadalupe** por darme vida, salud, fortaleza y una gran familia que me ayudara a culminar este ciclo de mi vida.

A mi Sra. Madre **Dora Alicia Alvarado Hernández** por ser mi inspiración, mi ídolo, por enseñarme desde mis primeros años de mi vida que hay que esforzarse para salir adelante, gracias por bendecirme con la vida y apoyarme día a día para realizar mis sueños, amarme y confiar en mí. Te Amo Ma con toda mi alma, sin ti no sería nadie.

A mi Sr. Padre **Ernesto Flores Mejía**, por apoyarme a su manera como salir adelante y forjarme la manera en cómo me debo comportar y desenvolver en el trabajo. Te Amo mucho Pa, le pido siempre a Dios que te cuide y te bendiga.

A mi hermana querida **Dulce July Flores Alvarado**, una de las mujeres que Amo con toda mi alma, mi pequeña con quien compartí desde pequeños, momentos de dolor y principalmente de felicidad. En todos mis logros siempre estás ahí y ahora que tienes una responsabilidad junto a **Víctor** tu esposo de educar a este angelito que Dios les dio **Patricio**, sabes que siempre estere ahí para apoyarte. Te Amo demasiado Hermana.

A mi hermosa familia, a mi Sra. Esposa **Ma. Nieves Flores Olivares**, gracias por permitirme conocerte por apoyarme y sobre todo Amarme y querer estar conmigo a pesar de todos los problemas que pasamos y que libramos día a día. Pero sobre todo Amor gracias por darme a mi princesa, a la dueña de mi vida mi hija, **Liliana Giselle Flores Flores** y próximamente a nuestro nuevo **Bebe** que ya viene en camino. Las Amo con toda mi alma, son mi inspiración y siempre me esforzare para hacerlas felices y darles lo que se merecen.

A la **Dra. Rosalía Meléndez Pérez**, bueno que puedo decir, usted confió en mí desde que me dio clases en LEM IV e inicie este proyecto y a pesar de todo, me tuvo la paciencia suficiente para terminarlo. Usted sabe que junto al **Dr. José Luis Arjona** son mi ejemplo a seguir de cómo ser un profesionista, un INGENIERO EN ALIMENTOS. Gracias.

Al profesor **Dagoberto Riaño** así como a mis amigos de la carrera y selección de futbol (**Oscar, David, Cuau, Pepe, Johnny, Pedro, Ángel, Juanito, Sergio y los que me faltan**). Gracias por ser mis compañeros, pero sobretodo mis amigos y mi familia, en esta etapa que es la mejor de mi vida tanto académica como deportivamente.

A mi amigo **Juan Carlos Hernández Castillo**, gracias por apoyarme y permitirme formar junto a él, nuestro sueño, nuestro proyecto de Ingeniería. Pero sobre todo gracias por brindarme su amistad y confianza, sabes que lo aprecio mucho.

A mi amigo **Guillermo Pantoja Cerna**, por darme mi último empujoncito para terminar mi tesis, por ayudarme y hacerme ver que uno nunca debe estancarse y que debe buscar y sobre todo esforzarse para salir adelante como profesional, gracias por brindarme tu amistad.

Le agradezco profundamente a nuestra máxima casa de estudios UNAM, pero principalmente a la FES Cuautitlán por permitirme realizar este sueño de ser un profesionista, por forjarme y prepararme para el campo laboral. Gracias por todos los hermosos momentos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN.....	II
ANTECEDENTES.....	1
1. La carne de cerdo en México y en el mundo.....	1
1.1. Consumo mundial.....	1
1.1.1. Situación mundial.....	1
1.1.2. Intercambio comercial.....	3
1.1.3. Contexto nacional de la carne de cerdo.....	4
1.2. La carne. Definición.....	6
1.2.1. Conversión del músculo en carne. Transformaciones tras la muerte.....	6
1.2.2. Maduración de la carne.....	8
1.2.3. Composición química de la carne.....	9
1.2.3.1. Agua.....	11
1.2.3.2. Proteínas.....	11
1.2.3.3. Grasas.....	12
1.2.3.4. Carbohidratos.....	12
1.3. Calidad de la carne de cerdo.....	13
1.4. Métodos de conservación de la carne.....	13
1.4.1. La congelación de la carne.....	14
1.4.2. La congelación criogénica.....	17
1.4.3. Descongelación de carne.....	18
1.4.4. La cocción.....	19
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1. Planteamiento del problema.....	21
2.2. Objetivos e hipótesis.....	21
2.2.1. Objetivo general.....	21
2.2.2. Objetivos particulares.....	21
2.2.3. Hipótesis.....	21
2.2.4. Variables.....	21
2.3. Cuadro metodológico.....	22
2.4. Desarrollo experimental.....	24

2.4.1. Actividades preliminares.....	24
2.4.1.1 determinaciones de color de la carne mediante el uso del Colorímetro Minolta CR300.....	24
2.4.1.2. Determinación de la actividad de agua de la carne mediante el uso de Pawkit Decagon Devices.....	24
2.4.1.3. Determinación del pH mediante el uso del potenciómetro (fivestar) y un electrodo de punción Hanna Instruments.....	25
2.4.1.4. Cuantificación de proteína mediante el método de Bradford.....	26
2.4.1.5. Método de Bradford para la determinación de proteínas es una técnica rápida y sensible de cuantificación que utiliza el reactivo de Bradford (bio-rad).....	26
2.4.2. ACTIVIDADES DEL OBJETIVO PARTICULAR 1.....	27
2.4.2.1. Determinación de temperatura.....	27
2.4.2.2. Determinación de la velocidad de aire	27
2.4.2.3. Cámara de congelación.....	27
2.4.2.4. Horno convectivo.....	27
2.4.2.4.1. Determinación de las condiciones de descongelación del lomo de cerdo congelado criogénicamente y mecánicamente.....	28
2.4.3. Congelación y descongelación de las muestras cárnicas y análisis físico-químicos.	29
2.4.4 Cocción de las muestras cárnicas y análisis físico-Químicos.....	30
2.5. Tratamiento estadístico para el análisis de resultados de los parámetros Físicos y Químicos.....	30
2.5.1. Método de Tukey o Método de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey.....	31
2.5.2. Diagrama de caja y bigote.....	32
3. RESULTADOS Y ANALISIS.....	33
3.1 Resultados de actividades preliminares.....	33
3.1.1. Acondicionamiento de la carne.....	33
3.1.2. Determinación de la velocidad de aire.....	34
3.1.3. Determinación del tiempo de descongelación.....	35
3.2. Obtención de las curvas de congelación mecánica-criogénica así como la descongelación y cocción de las muestras de lomo de cerdo.....	37
3.3 Determinación de Parámetros Físicos y Químicos.....	37
3.3.1. Actividad de agua (Aw).....	38
3.3.2. Cambio en la dimensión (Longitud, Ancho y Espesor).....	40
3.3.3. Pérdida de peso.....	44
3.3.4. Cambios del color durante la congelación cocción en carne de cerdo.....	47
3.3.5 Evaluación del pH durante los tratamientos de congelación cocción.....	51
3.3.6 Cuantificación de proteínas de los extractos las diferentes muestras cárnicas, uso del método de Bradford.....	52
Conclusiones.....	55
Referencias Citadas.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de diferentes carnes (100 gramos).....	9
Cuadro 2. Análisis químico aproximado de la mayoría de las carnes (Lawrie, 1987).....	9
Cuadro 3 . Distribución de las proteínas en el tejido muscular. (Girard, 1991).....	12
Cuadro 4. Niveles de variación de las variables involucradas en la descongelación.....	28
Cuadro 5. Arreglo ortogonal TAGUCHI corridas experimentales de acuerdo a las variables de operación.....	29
Cuadro 6. Resultados experimentales de parámetros físicos evaluados en carne fresca, provenientes de cuatro corridas experimentales	33
Cuadro 7. Velocidad de los equipos de congelación y cocción.....	34
Cuadro 8. Relación de porcentaje de agua descongelada en cubos de hielo.....	35
Cuadro 9. Análisis ANOVA de acuerdo al arreglo Taguchi importancia de las variables durante la descongelación de hielo.....	36
Cuadro 10. Aw de carne de cerdo sometida a congelación –cocción.....	38
Cuadro 11. Resultados del cambio en de longitud en carne de cerdo sometida a congelación –cocción.....	40
Cuadro 12. Resultados del cambio del espesor en carne de cerdo sometida a Congelación –cocción.....	40
Cuadro 13. Resultados del cambio en el Ancho en carne de cerdo sometida a congelación –cocción.....	41
Cuadro 14. Representación de la pérdida de peso durante el tratamiento de Congelación - Cocción en carne de cerdo.....	44
Cuadro 15. Resultados de la Luminosidad a lo largo de la experimentación.....	48
Cuadro 16. Resultados de la tendencia al color rojo a lo largo de la experimentación.....	48
Cuadro 17. Resultados de la tendencia al color amarillo durante los tratamientos.....	48
Cuadro 18. Cambio del pH en carne de cerdo después de los tratamientos térmicos.....	51
Cuadro 19. Comportamiento proteico después de los diferentes tratamientos térmicos..	53

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Producción de ganado en pie. (SIAP, (2010), SAGARPA, (2010)).....1

Figura 2. Principales países productores de carne de cerdo en 2012. (Fira, 2012).....2

Figura 3. Consumo per cápita de carne de cerdo (kg/persona/año). (Confederación de Porcicultores Mexicanos, A. C. con información de la USDA-FAO).....3

Figura 4. Producción Nacional de carne de cerdo, 2000-2012. (FIRA. Con información de SIAP, 2012).....4

Figura 5. Principales Estados Productores de carne de cerdo en canal. (Confederación de Porcicultores Mexicanos, A. C. 2012, elaborado con datos de SIAP).....5

Figura 6. Conversion del musculo en carne (Maduracion). (Girard, 1991).....7

Figura 7. Curva tipica de congelacion, (*Mallet, 1993*).....15

Figura 8. Representacion del arreglo ortogonal.....28

Figura 9. Diagrama de caja y bigote, representando sus partes significativas.....32

Figura 10. Dimensiones de las rebanadas de carne.....33

Figura 11. Relación peso-temperatura-volumen con respecto al tiempo en descongelación de cubos de hielo.....35

Figura 12. Historia térmica de la congelación criogénica de lomo de cerdo, el cual será sometido a cocción a 205 °C y 235°C.....37

Figura 13. Intervalos de confianza para prueba de Tuckey en la comparación de la Aw..39

Figura 14. Diseño de caja y bigote para los resultados obtenidos en el cambio de la longitud.....42

Figura 15. Diseño de caja y bigote para los resultados obtenidos en el cambio del espesor.....42

Figura 16. Diseño de caja y bigote con respecto al cambio en el ancho de las muestras cárnicas.....43

Figura 17. Gráfico de caja y bigote para los resultados correspondientes a la pérdida de peso.....45

Figura 18. Gráfico de caja y bigote para los resultados correspondientes a la pérdida de peso en la descongelación.....46

Figura 19. Gráfico de caja y bigote para los resultados correspondientes a la pérdida de peso en la cocción.....47

Figura 20. Análisis estadístico para resultados de luminosidad durante los diferentes tratamientos.....49

Figura 21. Analisis estadístico par resultados de tendencia al color rojo durante los Diferentes tratamientos.....49

Figura 22. Análisis estadístico para resultados de tendencia al color amarillo durante los diferentes tratamientos.....50

Figura 23. Análisis estadístico de los resultados de pH después de los tratamientos térmicos.....52

Figura 24. Curva patrón de proteína de BSA en relación de la absorbancia a 595nm con respecto a la concentración de proteína (mg/mL).....53

Figura 25. Interpretación gráfica del comportamiento proteico durante los diferentes tratamientos térmicos.....54

RESUMEN

La industria alimentaria a nivel mundial ya sea en los países de primer mundo, como en los en vía de crecimiento busca nuevas y mejores alternativas para la conservación de los alimentos. En este caso que nos referimos a la carne y su industrialización en el cual para seguir brindando al mercado y sobre todo a los consumidores una mejor calidad en la carne y productos cárnicos procesados se ha realizado una evaluación de atributos que afectan a la calidad en la carne después de haberse sometido a un proceso de congelación y cocción. Para ver el efecto y buscar nuevas alternativas que ayuden a conservar las características de la carne asemejando siempre a la carne fresca se decidió comparar dos métodos de congelación, la comúnmente conocida como tradicional o mecánica y la congelación criogénica (congelación ultra rápida).

El trabajo se realizó con muestras de carne fresca obtenida 48 h después de la matanza de cerdos raza Duroc- Jersey, macho capado, 6 meses de edad con peso de 110 Kg. El corte sobre el que se realizó el estudio fue *longissimus dorsi*, parte del cerdo característico por su limpieza lipídica. Se obtuvo de un mismo proveedor para garantizar que los cambios en los análisis fueran provocados por el efecto de los tratamientos y no por otras variables. Dichas muestras fueron acondicionadas de tal manera que se pudieran evaluar diferentes atributos de calidad, a estas muestras se le realizó análisis que nos permitiera conocer los valores de dimensión, porcentaje de proteína en extractos proteicos, actividad de agua, color pH y el peso inicial. Posteriormente cierto número de muestras se llevó a congelación mecánica en una cámara de congelación y las sometidas a congelación criogénica se realizaron en un cilindro especial para la manipulación de nitrógeno líquido.

La descongelación y la cocción de las muestras tratadas se efectuaron en un horno convectivo, el cual opera por convección y la aplicación de rayos infrarrojos, método rápido de aplicación de calor. De igual manera se realizó la determinación de los parámetros físico y químicos ya analizados a la carne fresca para realizar una comparación y una determinación de que tratamiento a baja temperatura influyo sobre la calidad de la carne de cerdo, cabe señalar que la descongelación y cocción se realizó con variables controladas.

Con los resultados obtenidos se pudo determinar que la congelación criogénica provoca ligeras cambios fisicoquímicos en las muestras cárnicas en comparación a las muestras sometidas a congelación mecánica, las cuales detonan un mayor efecto que perjudica en la calidad de la carne y posiblemente en la introducción de esta en proceso de transformación de productos cárnicos. Como conclusión del presente trabajo con base a los resultados obtenidos es posible realizar una selección de tratamientos de conservación las cual permita una semejanza a la carne fresca después de haberse sometido a congelación después de un periodo largo de tiempo.

Agradecimiento: Se agradece el apoyo financiero de DGAPA. UNAM, al proyecto PAPIIT IT203314.

INTRODUCCIÓN

La carne dentro de la dieta humana cubre un papel fundamental, ya que proporciona los aminoácidos esenciales que el organismo requiere, pero debido a sus características biológicas y de composición química se pueden provocar ciertos cambios los cuales pueden afectar su calidad microbiológica, nutrimental y de estructura física (Jasso, 1998), por lo que las expectativas del estudio de la carne y tecnología de conservación de productos cárnicos conciernen en mejorar las características de calidad de los productos. El tratamiento del alimento a bajas temperaturas disminuye la velocidad de las reacciones químicas, enzimáticas y del metabolismo microbológico indeseable de los alimentos. En éste sentido, la carne puede ser conservada durante varios meses al ser sometida a congelación.

Así mismo en todos aquellos países industrializados que se dedican a la exportación e importación de carne y productos cárnicos, al menos en una de sus estadías de procesamiento emplean la acción de las bajas temperaturas.

La congelación se basa en una disminución de la temperatura por debajo de los 0 °C (-18 °C) para modificar el estado del agua contenida en la carne o un alimento y, dependiendo de la rapidez con que se congele cambiaran ciertos atributos relacionados con su calidad como la actividad acuosa, el color, el pH, la dimensión y la degradación proteica en la carne. Los cambios que ocurren durante la congelación se verán reflejados después de la descongelación y posteriormente en la cocción.

En la congelación mecánica, el proceso de enfriamiento es lento, de forma que el agua contenida en los alimentos, en las células que los componen, se congela lentamente formando grandes cristales de hielo, que rompen las membranas celulares y los orgánulos destruyendo así los tejidos, lo que provoca deshidratación del alimento y una pérdida de sabor, aspecto y calidad después de la descongelación; si el proceso de congelación es criogénico se forman pequeños cristales en el interior y el exterior de las células o que no llegan a romper las membranas celulares, con lo que se evitan los perjuicios antes mencionados. La congelación criogénica permite, mantener la estructura celular del alimento casi intacta. Las pérdidas por deshidratación son de 0.1 a 1% cuando el alimento se somete a congelación criogénica, mientras que en la congelación mecánica se pierden entre un 5 y 10 %, así el costo de la congelación tradicional se ve incrementado por las mermas en el proceso.

En las industrias de alimentos la congelación criogénica no es muy común, hay que decir que, en efecto, en México son contadas las empresas que practican la congelación criogénica. Su poca utilización se debe al desconocimiento y al temor de los costos, pero que si se piensa a largo plazo traerá mayores beneficios tanto productivos como económicos debido a que se reducirían las pérdidas producidas por la congelación mecánica, esto refiriéndonos al sector cárnico.

La forma general de consumo de la carne es cocinada o cocida, por lo que se puede considerar como otro método más de conservación y consiste en la aplicación de calor a altas temperaturas donde se mejora la calidad microbiana, se cambian características sensoriales y físicas del producto (Carballo, 2001). Actualmente se está supliendo la cocción tradicional por la aplicación de rayos infrarrojos, lo cual beneficia debido a su rapidez de operación, su fácil uso y su bajo costo a largo plazo.

El valor nutritivo de la carne de cerdo la señala como uno de los alimentos más completos para satisfacer las necesidades del hombre, y su consumo podría contribuir en gran medida a mejorar la calidad de vida humana desde el punto de vista de los rendimientos físicos e intelectuales.

El porcino se encuentra hoy en día entre los animales más eficientemente productores de carne; sus características particulares, como la gran precocidad y prolificidad, corto ciclo reproductivo y gran capacidad transformadora de nutrientes, lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimentación.

Desafortunadamente, durante muchos años la carne de cerdo ha sido considerada como un alimento "pesado", una carne "grasosa", con un contenido "muy alto de calorías", y aún un alimento "peligroso" por su posible asociación con enfermedades y parásitos. Estas creencias populares constituyen una imagen equivocada que todavía se proyecta a un sector muy amplio de la población y tuvieron su origen en el tipo de animal y en la forma como se explotaba en el pasado.

El hecho de que la carne porcina siga siendo censurada por varios sectores consumidores como un producto peligroso, ha hecho que su producción y distribución sea todavía incipiente; y esta actividad no se haya desarrollado como una verdadera industria.

1. ANTECEDENTES

La carne de cerdo en México y en el mundo.

1.1. Consumo mundial.

El cerdo o porcino se cría en casi todo el mundo, principalmente como fuente de alimento, por su alto valor alimenticio y alto contenido en proteínas. En México, la producción de carne de cerdo no se realiza con animales de razas puras, sino con las cruza de éstas, llamadas hibridaciones; entre las principales razas que sirven para ello están Duroc, Landrace, Hampshire, Chester White, Yorkshire, y Pietrain.

La cantidad producida de cerdo en pie ha disminuido desde los años ochenta, al igual que las existencias, lo que se debe a la competencia con otro tipo de proteínas, principalmente la carne de pollo, que tiene un menor precio. Mientras que la producción de cerdo en pie disminuyó en cerca de 21 % entre 1983 y 2010, la producción de pollo en pie creció en casi 450 % y la producción de bovino en canal aumentó en cerca de 71 %, como puede verse en la Figura 1.

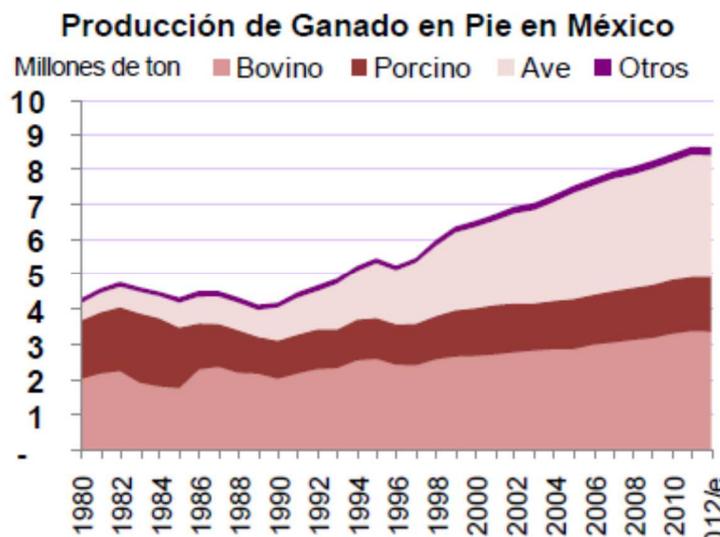


Figura 1. Producción de ganado en pie. (SIAP, (2010), SAGARPA, (2010)).

Dentro de las perspectivas para el sector agropecuario de México (SFA-SAGARPA, 2011), se tiene que para el 2013, se tendrá una producción de 1255 miles de toneladas (m ton) con un consumo de 1955.4 m ton.

1.1.1. Situación mundial.

La carne de cerdo es la más producida en el mundo, al tener una participación cercana al 40 % del volumen total de cárnicos. En el periodo 2001-2011 la producción de carne en el mundo creció a una tasa media anual de 1.7 %. Durante 2011, la totalizó 101.7 millones de ton (M ton), que en relación con 2010 representa una caída del 1.2 %. Sin embargo, para el 2012, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estimó una producción de 104.4 M ton de carne de cerdo, lo que representa un crecimiento del 2.7 %.

El 81.2 % de la producción mundial de carne de cerdo se concentra en China, la Unión Europea (27 países) y Estados Unidos. Así, durante 2011, China produjo 49.5 M ton de carne de cerdo, que representaron 48.7 % del total. Para el 2012, las expectativas de producción de China presentaron un crecimiento anual del 4.2 %, que representan 51.6 M ton, la Unión Europea totalizó 22.8 M ton, que representan 22.4 % del total mundial, este comportamiento se muestra en la Figura 2. México se ubicó como 10° productor mundial, con una participación de 1.2 %.

En cuanto al consumo per cápita, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el consumo de carne *per cápita* a nivel mundial experimentó cambios importantes en las últimas décadas, pasando de una media de 26 kg en 1970 a 41 kg en los últimos años.

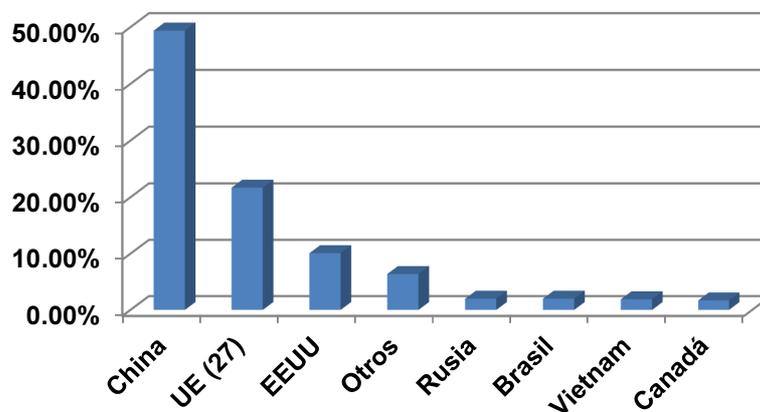


Figura 2. Principales países productores de carne de cerdo en 2012. (Fira, 2012).

Según las estadísticas del sector agropecuario y pesquero, 2012 (SIAP, 2012) el consumo por persona muestra variaciones significativas según la región: África registra el menor consumo (16 kg) y Oceanía, el mayor (33 kg). El principal incremento de 1970 a la fecha lo registra el continente asiático con un aumento en el consumo de 23 kg, seguido por América (20) y Europa (18). En la Figura 3. Se presenta el consumo per cápita mundial.

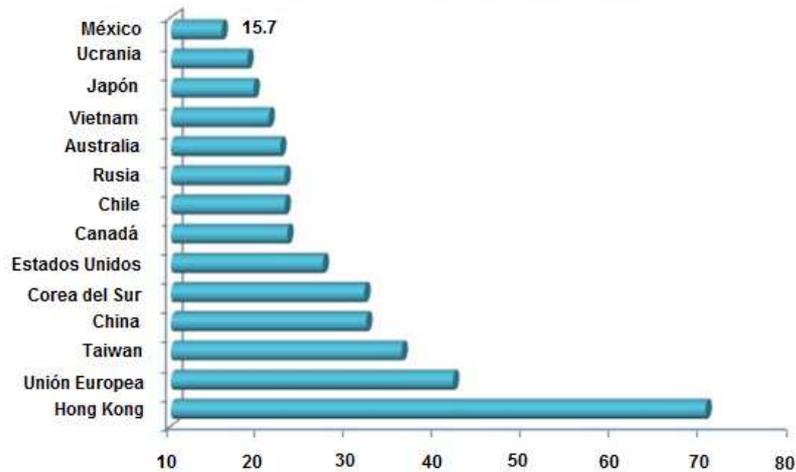


Figura 3. Consumo per cápita de carne de cerdo (kg/persona/año). (Confederación de Porcicultores Mexicanos, A. C. con información de la USDA-FAO).

1.1.2. Intercambio comercial.

El comercio mundial de carne de porcino ha crecido constantemente durante la última década. En el periodo comprendido entre 2000 y 2011 las exportaciones mundiales de carne de cerdo crecieron a una tasa promedio anual de 8.0 %, para situarse en este último año en 7.0 M ton.

El mercado de exportación de carne de cerdo es dominado por Estados Unidos y la Unión Europea, durante 2011 el volumen exportado de estas dos regiones totalizó 65.3 % del total mundial. Así, durante 2011, Estados Unidos exportó 2.4 M ton, es decir, 33.7 % del total, mientras que la Unión Europea participó con 2.2 M ton, equivalente a 31.6 %. El tercer país en el mercado de exportaciones porcinas es Canadá, al totalizar 1.2 M ton en 2011, o 17.1 % del total.

En 2012, la USDA mostró que Estados Unidos incrementó sus exportaciones en 2.0 %, con 2.4 M ton. Mientras tanto, en la Unión Europea y Canadá presentaron una reducción en el orden del 3.6 % y 1.8 %, respectivamente.

Según lo reportado por la Dirección General Adjunta de Inteligencia Sectorial en relación al Panorama Agroalimentario del 2012, los principales países importadores de carne de cerdo se concentraron en el continente asiático, excepto México. Para 2012 Japón continuó siendo el principal comprador de carne de cerdo, al importar 19.4 % del total mundial, lo que se traduce en 1.3 M ton. El mercado japonés fue deficitario y el 50 % de su consumo doméstico provino de las importaciones. El segundo importador mundial en términos de volumen fue Rusia que presentó una tasa de crecimiento medio de 6.0 % en los últimos diez años; las importaciones rusas se ubicaron en 900 mil ton. El tercer comprador mundial fue China, mismo que ha incrementado sus importaciones en 25.9 % promedio durante la última década. Las importaciones chinas totalizaron 650 m ton, una reducción de 14.2 % en relación a 2011.

México destaca como el cuarto comprador a nivel mundial, al participar durante 2011 con el 10.1 % del total global importado. Para 2012 se importaron 650 m ton, mismo volumen que China, lo que representa un aumento del 9.4 % en relación al 2011.

1.1.3. Contexto nacional de la carne de cerdo.

Entre 2000 y 2010, la producción de carne en canal mostró una tasa media anual de crecimiento (TMAC) de 1.3 %, ubicándose en 2010 en 1.2 M ton, con un valor de 35,840 millones de pesos. En el 2011, la producción de carne se incrementó en cerca de 0.7 %, respecto a 2010, en tanto, en 2012 se incrementó un 0.9 %. La carne en canal de cerdo es el cuerpo del animal sacrificado, después del sangrado y eviscerado, entero o partido por la mitad, sin lengua, cerdas, pezuñas, genitales, manteca, riñones ni diafragma. Aproximadamente, la carne en canal de cerdo en nuestro país representa un 76 % del peso del cerdo en pie, para 2012, la estimación de producción de SIAP-SAGARPA se ubicó en 1.19 M ton, es decir, un incremento de 0.9 %.

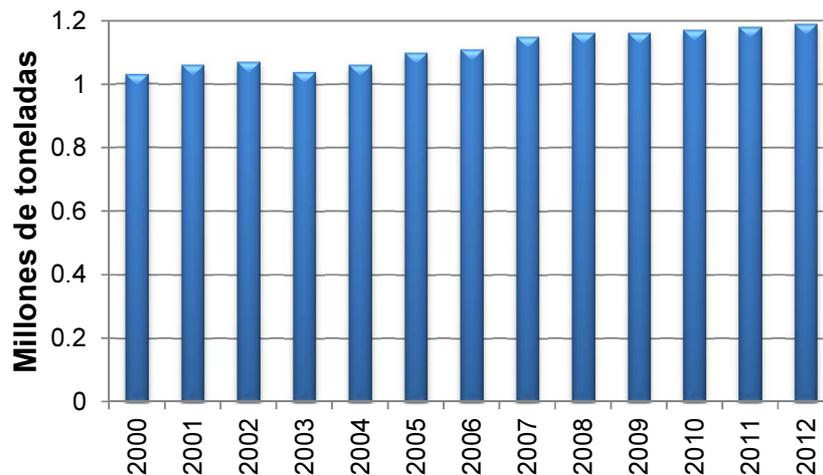


Figura 4. Producción Nacional de carne de cerdo, 2000-2012. (FIRA. Con información de SIAP, 2012).

La estructura de participación estatal en la producción de carne de cerdo en nuestro país ubica a Jalisco y Sonora como los principales actores en la producción nacional. Durante 2011, la producción en Jalisco, de acuerdo al avance mensual de la producción pecuaria al cierre de 2011, totalizó 227.5 m ton de carne en canal producidas, lo que representa 19.2 % del total nacional, un incremento del 2.6 % en relación al año anterior. Por su parte, la producción en Sonora, segundo productor nacional, se ubicó en el mismo año en 223.1 m ton, 18.9 % del total, un crecimiento anual de 4.6 %.

De acuerdo con información de producción 2012, del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Figura 5.), los principales estados productores presentaron un estancamiento al estimar producciones estatales con tasas de crecimiento cero. La producción en Jalisco fue de 227.5 m ton, el mismo nivel que durante 2011. La producción en Sonora y Guanajuato se estimó con reducciones marginales, de 0.8 % y -0.1 %. Destaca que el estado de Puebla presentó un incremento de 13.6 % en su producción local, para ubicarse en 125.3 m ton de carne de cerdo. Entre otras entidades sobresalientes encontramos a Guanajuato (9.4 %), Puebla (9.3 %) y Yucatán (8.4 %).

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

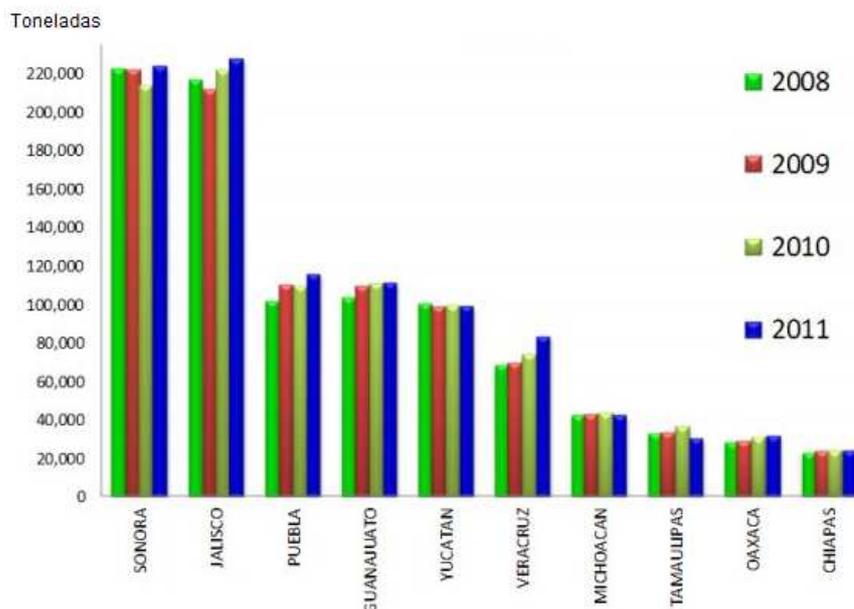


Figura 5. Principales Estados Productores de carne de cerdo en canal.
(Confederación de porcicultores Mexicanos, A. C. 2012, elaborado con datos de SIAP).

Cifras proporcionadas por el Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA), indican que entre enero de 2011 y enero de 2012, el precio promedio nacional de cerdo en pie en rastro y de cerdo en canal en obrador se incrementaron en 14.0 % y 19.6 %, respectivamente, alcanzando \$ 2.8 y \$ 34.2 por kg, respectivamente. Sin embargo, los siguientes meses del año 2012, el precio descendió, en 19.2 % el cerdo en pie y en 17.3 % el cerdo en canal, ubicándose en la primera semana de junio en \$21.0 y \$33.9 por kg, respectivamente. El margen entre ambos precios fue en promedio de 56 %, entre 2011 y la primera semana de junio de 2012.

De acuerdo con SAGARPA, la carne de cerdo es la que en mayor medida se destina a la industrialización, para la elaboración de carnes frías, embutidos y preparación de mantecas. El consumo de carne por parte de este sector industrial se estima en 15 % de la producción total nacional. Datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) revelan que, en 2011, la matanza de ganado porcino produjo 17,725 toneladas de carne en canal, cuyo valor generado fue de 540 millones de pesos, cifra que representó el 1.7 % del valor total de la matanza de ganado, aves y otros animales comestibles (31,380 mdp).

En 2011, el corte y empaquetado de carne de porcino superó las 260 m ton, 21 % correspondió a cortes sin deshuesar y el 79 % restante a cortes deshuesados. El valor del corte y empaquetado ascendió a 7,838 millones de pesos, de los que 29 % fueron generados por los cortes sin deshuesar y 71 % por los cortes deshuesados. El corte y empaquetado de carne de porcino constituyó cerca del 59 % del valor total de corte y empaquetado de carne de ganado, aves y otros animales comestibles (13,353 mdp). Es importante resaltar que, entre 2007 y 2011, el volumen de producción de los cortes de carne de cerdo se incrementó a una tasa promedio anual de 8.8 %; mientras que la carne en canal

disminuyó a un ritmo de 5.0 %, en ese mismo periodo. Lo que indica una búsqueda de mayor agregación de valor en la cadena de porcino por parte de los productores.

1.2. La carne. Definición.

Tejido muscular estriado en fase posterior a su rigidez cadavérica (post-rigor), comestible, sano, y limpio e inocuo de animales de abasto que mediante la inspección veterinaria oficial antes y después del faenamiento son declarados aptos para consumo humano, (INEN, 2012).

1.2.1. Conversión del músculo en carne. Transformaciones tras la muerte

El *rigor mortis* constituye la fase inicial en la transformación del músculo en carne. Consiste simplemente en la unión irreversible de Miosina y Actina para formar actomiosina. Esta unión puede ir acompañada o no de contracción muscular, pero se manifiesta en la rigidez cadavérica que le caracteriza.

Después de la muerte se produce:

- Falta de regulación nerviosa y hormonal
- Falta de aporte de nutrientes
- Falta de aporte de oxígeno
- Alteración del equilibrio osmótico

La consecuencia más inmediata del sangrado es el fallo en el aporte de oxígeno transportado por la sangre a los músculos y por tanto la caída del potencial de oxidación-reducción. En consecuencia, el sistema enzimático citocromo no puede funcionar y la síntesis de ATP por esta vía es imposible. Por acción de la ATPasa de la Miosina disminuye el nivel de ATP, liberando simultáneamente fosfato inorgánico que estimula la conversión del glucógeno en ácido láctico. La síntesis de ATP por glicólisis anaerobia no permite mantener el nivel de ATP, y al descender éste hasta casi desaparecer se forma actomiosina y se produce la inextensibilidad característica del *rigor mortis*, (Kirk et, al.1996).

La baja disponibilidad de ATP también incrementa la dificultad para mantener la integridad estructural de las proteínas, al mismo tiempo que el bajo pH, causado por la acumulación de ácido láctico, favorece su desnaturalización. La desnaturalización frecuentemente está acompañada por la pérdida de la capacidad para retener agua y la caída del pH, que se aproxima al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares. Ambos fenómenos causan exudación.

Este conjunto de complejas transformaciones constituye en una primera etapa el proceso denominado *rigor mortis*.

El inicio del acortamiento y la pérdida de extensibilidad se producen simultáneamente y a un pH muy elevado, coincidiendo también con el momento en que la concentración de ATP empieza a descender como consecuencia del agotamiento de las reservas CP (creatín-fosfato).

Tanto el final del acortamiento como el de la pérdida de extensibilidad se producen en los músculos cuando la concentración del ATP es prácticamente cero. Este es el momento en que se considera finalizado el proceso de instauración del *rigor*, (Kirk et, al.1996).

Existe una clara influencia de la temperatura a la que tiene lugar el proceso en su duración, evolución del pH y concentración de ATP, así como en el acortamiento de las fibras que se produce.

Se denomina maduración al proceso que se produce a partir del *rigor*, durante el período de tiempo en el que se mantiene la carne a temperaturas de refrigeración hasta su consumo.

La resolución del *rigor* se produce durante la maduración, y ello no porque se separen Actina y Miosina sino por la fragmentación de las miofibrillas por acción de las enzimas propias de la maduración. Conforme discurre el proceso de maduración, el músculo se hace cada vez más blando.

A lo largo de la maduración se producen diversos cambios que incluyen posibles modificaciones en los componentes extracelulares e intracelulares. Todos estos cambios son tanto enzimáticos como dependientes del pH.

Durante la maduración el pH y la CRA que tenía el músculo al final del *rigor mortis* apenas se modifica. Se presenta en la figura 6 la forma resumida de los más importantes cambios ocurridos durante la transformación del músculo en carne.

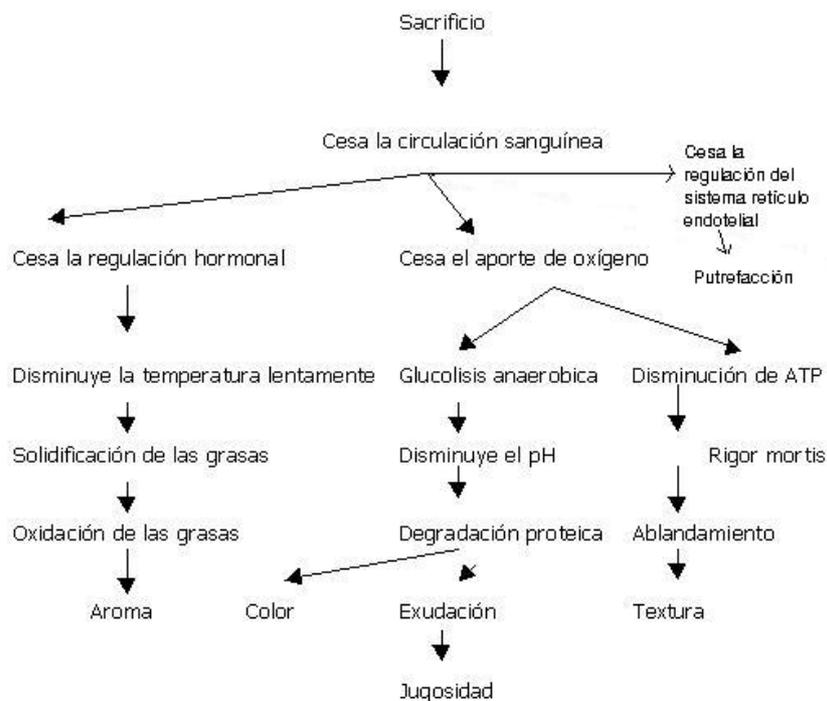


Figura 6. Conversión del músculo en carne (Maduración). (Girard, 1991).

1.2.2. Maduración de la carne

La ternura y la jugosidad son, probablemente, los factores más importantes que afectan la calidad que percibimos al consumir la carne. Esta ternura aumenta durante el almacenamiento (resolución del rigor mortis) cuando la carne proviene de animales sanos y el proceso del sacrificio ha sido el adecuado; esta ternura se hace más evidente a medida que el almacenamiento resulta más prolongado.

La maduración de la carne se debe principalmente a una proteólisis accionada por las enzimas proteolíticas, es decir, una degradación de las moléculas proteínicas de alto peso molecular en otras más simples; también hay una limitada degradación del tejido conectivo.

La carne lista para consumo se obtiene recién después de un cierto tiempo de almacenamiento en condiciones apropiadas de refrigeración, dando como resultado una carne más tierna y jugosa.

Con posterioridad al desarrollo de la rigidez cadavérica, se inicia la maduración de la carne mediante los cambios que se suceden dando lugar al ablandamiento de la carne después de 3 a 4 días de almacenamiento en frío (Quezada, 2013). La carne “caliente”, si se destina inmediatamente para el consumo, será siempre mucho más dura que una carne que ha experimentado el proceso de maduración.

La maduración, además de influir en la disminución de la dureza de la carne y a la elevación del pH, aumenta también la capacidad de retención de agua. Las proteínas musculares absorben los iones de potasio que se encuentran libres en el sarcolema, desplazando a los iones de calcio, con lo cual la carga eléctrica neta de las proteínas aumenta y se incrementa la capacidad de retención de agua. El resultado de todo ello es la mayor jugosidad de la carne madurada (Chávez, 2005).

También es importante mencionar que durante la maduración de la carne se produce la formación de ese aroma que tan peculiarmente caracteriza a la misma.

Es importante recordar que la carne es un alimento muy sensible a la alteración microbiológica y esa presencia indeseable depende en forma directamente proporcional al tiempo trascendido desde el momento del sacrificio del animal, la temperatura de conservación y la rigurosidad de las medidas higiénicas aplicadas durante su obtención, procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización. Por esta razón, para conservarse en buen estado durante varios días, además de tener en cuenta los factores anteriormente mencionados, se debe mantener la carne a una temperatura de refrigeración ligeramente superior al punto de congelación.

Tampoco hay que olvidar que existen otros métodos artificiales de conservación, como el curado, la congelación, la deshidratación y la irradiación, que pueden ayudar a prolongar la vida útil de esta.

1.2.3. Composición química de la carne

En nuestro país se consume principalmente (aunque en proporciones muy variables) carne de vacuno, ovino, cerdo y pollo, además de otras menos frecuentes como las de cabra, conejo o corzo, cada una con sus peculiares características organolépticas y químicas (Cuadro 1). La composición de la carne de cerdo de abasto ofrece pocas diferencias en lo que respecta a las partes magras, exentas de grasas. En cambio, su contenido graso está sometido a oscilaciones considerables que, de hecho, repercuten en las proporciones aportadas por los demás componentes (Santrich, 2006).

El contenido en grasa suele depender de cierto número de factores: la especie animal, la raza, el sexo, la edad, la alimentación, la región anatómica, etc.

Cuadro 1. Composición química de diferentes carnes (100 gramos). (INTA, 1997).

Carnes	Calorías (Kcal)	Humedad (g)	Proteínas (g)	Grasa (g)	GS (g)	GMI (g)	GPI (g)	Colesterol (g)
Carne de Vacuno	174	65	23.5	5.7	2.1	2.4	0.2	69
Carne de Cordero	258	58	25.5	16.5	6.9	7.0	1.2	93
Carne de cerdo	293	53	25.1	20.7	7.5	9.5	2.3	93
Carne de pollo	176	67	27.3	6.7	1.8	2.4	1.5	83
Vitaminas	Vitaminas del grupo B							
Minerales	Hierro, Zinc, Fosforo y Potasio							

Cuadro 2. Análisis químico aproximado de la mayoría de las carnes (Lawrie, 1987)

Componentes	Cantidad
Agua	70.0
Proteínas	20.0
Grasa	6.0
Sustancias inorgánicas no proteínicas	1.5
Hidratos de carbono y sustancias no nitrogenadas	1.5
Sales inorgánicas	0.7

En relación con la especie, se puede señalar una clara diferencia entre la carne de vacuno y las carnes de cerdo o de ganado lanar. La primera se caracteriza por un mayor contenido magro, mientras que las otras dos ofrecen un elevado porcentaje de sustancias grasas, aportando así mayor cantidad de calorías cuando se ingieren. Mayores diferencias se observan si se comparan con las carnes de las otras especies animales

que también se consumen en la alimentación humana (Ramírez, 2004). No obstante, cuando se elimina la porción grasa del tejido muscular, las partes magras presentan una composición química bastante similar.

La raza ejerce una evidente influencia sobre la composición de la carne, especialmente en lo que respecta a su contenido graso, que permite distinguir las carnes de vacas lecheras (con un mayor predominio de grasa subcutánea e intramuscular) de las carnes obtenidas de razas de vacas criadas para la producción cárnica (López, et.al 1999). También la raza influye, de forma muy destacada, en la composición de la carne de cerdo.

Respecto de la influencia de la edad y el sexo sobre la composición de las carnes, existen claras diferencias entre el ganado vacuno y el cerdo. En el vacuno, la carne de los animales jóvenes, de menos de dos años, suele contener mayor cantidad de agua y menos porcentaje de proteínas, grasas y elementos minerales que la de los animales adultos. Las carnes de las reses jóvenes no presentan la típica marmorización ocasionada por la presencia de grasa, debido a que estos animales son más propensos al engrasamiento intermuscular que al depósito de grasa subcutánea e intramuscular. Además, las hembras tienden a formar más tejido adiposo que los machos, aunque estas diferencias desaparecen con la castración, de modo que la carne de buey presenta una composición química similar a la de vaca.

En el caso del cerdo, la edad viene a influir de modo parecido a lo señalado para el ganado vacuno, pero en relación con el sexo del animal las influencias se hacen más específicas, hasta el punto de observarse un menor contenido graso en la carne de las cerdas en comparación con la de los cerdos castrados.

La alimentación tiene escasa influencia sobre la composición del tejido muscular del ganado vacuno debido a sus características de animal rumiante que procede una transformación de la comida ingerida por la microflora de la panza antes de su absorción intestinal. En cambio, el cerdo ejerce una notable influencia, pues su carácter monogástrico le lleva a utilizar para la elaboración de sus triglicéridos corporales los ácidos grasos que recibe con la dieta (Martínez, 2001).

Las canales de las distintas especies animales suelen ser despiezadas en distintas partes anatómicas, en cuya composición química se pueden observar diferencias, porque en cada parte se integran músculos diversos cuya función fisiológica varía, y esta circunstancia se refleja en su conversión en carne.

Generalmente, después del sacrificio animal las canales reciben algún tipo de tratamiento destinado a su conservación, más o menos prolongada, que la mayoría de las veces radica en la aplicación de frío. Gracias a los métodos de refrigeración rápida actualmente disponibles, la carne, refrigerada y almacenada bajo condiciones controladas de ventilación y humedad de aire, apenas modifica su composición química, aunque siempre hay que contar con una merma de peso (1.2-1.4% en vacuno y 0.7-1.3% en cerdos).

Para una conservación prolongada hay que recurrir a la tecnología de la congelación, en la que existen varios factores que influyen en la merma posterior: método de congelación, tipo de carnes, condiciones de almacenamiento y otros. Los métodos de congelación ultrarrápida no alteran, prácticamente, la composición química de la carne; pero en los procesos de descongelación sí se pueden dar pérdidas de jugos, que pueden hacer variar los porcentajes de las sustancias nitrogenadas, las vitaminas hidrosolubles y los elementos minerales. En estos casos, resulta decisivo el tamaño de las piezas a

descongelar, pues cuando la carne se encuentra fragmentada pueden alcanzarse pérdidas del 8% al 10%(Girard, 1991).

En ocasiones, también se incluye en la alimentación humana algunas vísceras comestibles: corazón, hígado, bazo, riñones, lengua y sangre. Estos órganos de las reses de abasto suelen ser más ricos en agua y menos en grasas que la porción muscular, pero sus contenidos proteicos vienen a ser equivalentes, con la excepción del encéfalo, siempre muy inferior (apenas un 10%), y el hígado de vacuno, lanar y cerdo, con un nivel superior (20%). En cambio, las vísceras contienen una cierta proporción de hidratos de carbono, en forma de glucógeno y azúcares simples, que no se da en la carne y que en el hígado de vacuno puede alcanzar el 6%.

De acuerdo al cuadro se explica detalladamente cada parámetro valuado en la composición química:

1.2.3.1 Agua

La cantidad varía dependiendo de la especie, la edad, sexo y zona anatómica del tejido. La variación de la cantidad de agua está directamente relacionada con la variación de la cantidad de grasa (lo mismo pasa en todos los alimentos). La cantidad de agua en la carne oscila entre 60 y el 80% y está relacionada con la jugosidad y otros atributos sensoriales como la textura el color o la dureza de la carne.

1.2.3.2. Proteínas

La proteína constituye el principal componente de la carne. El contenido de la proteína se posiciona en el segundo lugar después del agua. La proteína está compuesta por cadenas de moléculas de aminoácidos. Desde el punto de vista químico, la proteína es una molécula gigantesca, y está compuesta por polímeros complejos de aminoácidos, unidos por enlaces peptídicos (Se forma entre el carbono alfa y el nitrógeno del grupo amino), que forman polímeros denominados polipéptidos (Jasso, 1998).

Las proteínas que se encuentran localizadas en los músculos, se dividen en proteínas solubles y proteínas insolubles. El miógeno y la albumina, pertenecen al grupo de solubles, puesto que al mezclarlas con agua de disuelven en esta. Y las insolubles son las proteínas denominadas proteínas estructurales, las cuales son responsables de la forma externa del musculo. Este grupo lo conforman la actina y la miosina (Carvajal, 2001).

La miosina es la proteína más abundante en los músculos. Forma el 60% del total de la proteína miofibrilar. Tiene forma de espiral, absorbe agua y forma una sustancia transparente gelatinosa. La miosina posee propiedades que permiten su unión con la actina. La actina representa el 30% del total de la proteína muscular. Se encuentra en dos formas fisicoquímicas: Como monómero en forma libre (G-actina) y como parte de polímeros lineales (F-actina). La G-actina se polimeriza en presencia de ATP y sales para formar F-actina. La F-actina es la que se combina con la miosina para formar la actomiosina en rigor mortis, (Muriel, 2002). Las proteínas del sarcoplasma están compuestas por miógeno, globulina x, mioglobulina y mioalbúmina.

Miógeno: Representa un grupo de elementos proteicos con funciones fermentativas. Representa el 20% de la proteína muscular. Se encuentra en tres Fracciones de miógeno-

A, miógeno-B y miógeno-C. El miógeno representa una proteína de alto valor nutritivo, debida a que posee todos los aminoácidos esenciales.

Mioglobina o miocromo: Es soluble en agua y es la que le da el color rojo a los músculos. La molécula mioglobina está compuesta por cadenas poli peptídicas con una estructura similar a la cilíndrica.

La mioglobulina es su posibilidad de reaccionar con diferentes gases y principalmente con el oxígeno. La reacción del oxígeno con la mioglobulina da como resultado la oximioglobina, la cual posee un color rojo cereza. Durante una prolongada influencia, bajo el oxígeno del aire o el óxido de nitrógeno, el hierro del grupo "hema" de la mioglobulina se oxida a hierro trivalente y la mioglobulina se convierte en metamioglobina, la cual tiene un color carmelita. La metamioglobina se puede restablecer en mioglobina. Este compuesto químico de la mioglobina tiene gran importancia en la práctica de conservación y elaboración de la carne (Carvajal, 2001).

La envoltura conectiva de las fibras musculares es denominada sarcolema o estroma, está compuesto por proteínas y lípidos, es elástica y por esto puede sufrir cambios durante la contracción y relajación muscular. En la superficie del sarcolema se encuentran las terminaciones nerviosas.

Cuadro 3 .Distribución de las proteínas en el tejido muscular. (Girard, 1991).

TIPO DE PROTEÍNA	BASE HÚMEDA	BASE SECA
Contráctiles o miofibrilares		
Miosina	5.0	25.0
Actina	2.5	12.5
Tropomiosina	0.8	4.0
Troponina	0.8	4.0
Actinina	0.3	1.5
Otras	0.6	3.0
Total	10	50
Sarcoplásmicas o solubles		
Enzimas	6.0	30.0
Mioglobina	0.6	3.0
Otras	0.4	2.0
Total	7.0	35.0

1.2.3.3. Grasas.

El contenido en la carne va a ser muy variable siendo el parámetro que más varía. Tal cantidad de grasa va a depender de la relación grasa-agua. Todo lo que hay en el agua, proteínas, sales etc. variará si aumenta o disminuye la cantidad de grasa. Esta grasa se va a acumular en cuatro depósitos:

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

La grasa de estos depósitos va a ser una grasa neutra. Formada por triglicéridos principalmente. Además también hay diacilglicéridos y monoacilglicéridos. Los triglicéridos son moléculas de glicina unidas por enlaces ésteres a tres ácidos grasos. También habrá colesterol y ésteres de colesterol (Girard, 1991).

Dependiendo de la especie el porcentaje de grasa variará siendo en el cordero de un 6,6% y en el cerdo de un 5,25%. El porcentaje de grasa en la vaca, pollo, conejo, pavo está entre 2-3,2%. La cantidad de lípidos neutros será de 6,1% del cordero y del 4,9% en el cerdo. En la vaca, pollo, conejo y pavo es inferior al 3%.

Factores que influyen en la cantidad y composición de la grasa:

El principal factor es el tipo de especie. Dentro de ella influirá la raza, la edad y el sexo. Mayor cantidad de grasa habrá en las hembras y al castrar a los machos se consiguen que tengan más grasa. Dentro de los factores extrínsecos influye la alimentación. En los monogástricos como el cerdo, dependiendo de la cantidad de grasa que consuma esa será la que va a tener ya que no la transforma en su estómago. Sin embargo los rumiantes, la grasa se satura en el estómago, por ello va a ser una grasa más saturada que la de los cerdos o de las aves.

1.2.3. 4. Carbohidratos.

La cantidad apenas llega al 1% en la carne siendo el más importante el glucógeno. El glucógeno es un polímero de alfa-D-glucosa con enlaces (alfa1-4) y (alfa 1-6). Es la fuente de energía del músculo siendo parte del glucógeno consumido en el rigor mortis.

1.3. Calidad de la carne de cerdo

Actualmente el mercado de la carne de cerdo está demandando un producto exigido por el consumidor que reúna una serie de características o combinación de factores, como son: comestible, nutritivo y saludable.

La calidad de cualquier producto debe ser consistente y en especial cuando se trata de carne, contemplándose con esto, que el producto debe ser atractivo en apariencia, apetitoso y palatable.

La calidad es un tema complejo, esto quiere decir que el cliente no solamente está exigiendo un alto contenido de magro en las canales porcinas y en especial en las piezas más costosas como los lomos y perniles (jamones); sino también que el producto (carne) reúna una serie de características que permitan producir la calidad más satisfactoria con el mejor rendimiento (Piquer, 2001). El concepto calidad de la carne está formado por factores sensoriales, nutricionales, higiénicos y tecnológicos

Ante las mayores exigencias expresadas por el mercado, actualmente la producción de carne de cerdo deben abarcar todos los puntos que constituyen la cadena de la carne, es decir, desde la producción en la granja (con todos sus aspectos: sanidad, bioseguridad, manejo, genética, alimentación, etc.) hasta el consumo; pasando por el transporte, procesamiento y conservación.

1.4. Métodos de conservación de la carne

Desde mucho tiempo atrás hasta nuestra actualidad la carne cubre un gran campo de la alimentación de las sociedades del mundo, por tal motivo se desarrollaron métodos que

permitieran conservar dicho alimento en condiciones si no las más ideales, por lo menos las necesarias para ingerir por el hombre después de varios días después del sacrificio del animal. Los métodos de conservación más comunes en la industria alimentaria sobre carne y productos cárnicos son los siguientes:

1. **Refrigeración** (Disminuye la velocidad de las reacciones).
2. **Congelación** (inmoviliza el agua, alarga vida de anaquel, inactivación de reacciones).
3. **Irradiación** (Esterilización por las reacciones ionizantes).
4. **Salazón** (disminución de actividad de agua, uso de salmueras).
5. **Ahumado** (uso de fenoles y di fenoles se lleva a cabo una ligera disminución de la actividad de agua).
6. **Secado** (Deshidratación por evaporación).

Las grandes industrias procesadoras de la carne se basan principalmente en la conservación de la carne por congelación por eso el interés del estudio de dicho método, la congelación es un método que a las industrias favorece debido a que se puede manejar tiempos de conservación superiores a los 6 meses, pero a pesar de dicho beneficio cabe mencionar que al llevar a cabo dicho método la carne se ve afectada en sus atributos de calidad tanto física y química, efectos que se ven reflejados posteriormente en la descongelación y a su vez en la cocción de dicho producto (Aguilar, 2012).

El estudio del efecto de la velocidad de congelación repercute de gran manera ya que según con la velocidad con que se propague las bajas temperaturas sobre el alimento mayor o menor será el daño en dichos atributos de calidad. En el presente trabajo se muestra el efecto que tiene dicha variable en la calidad de la carne, por lo que es importante conocer que es la congelación que efectos causa en el alimento, que ocurre en la descongelación y como se ve reflejado posteriormente en una cocción.

1.4.1. La congelación de la carne.

La congelación es un método de conservación que se basa en la disminución de la temperatura netamente por debajo de 0°C (en general unos -18°C) y aumenta los lapsos de conservación en varios meses. En la congelación intervienen sucesivamente 3 fases distintas: la congelación propiamente dicha, el almacenamiento del producto y la descongelación (Mallet, 1993).

El agua de la carne inicia su congelación a temperaturas inferiores a los -1.5°C, a -7 °C ya está cristalizada un 80 % del agua congelable; a -18°C esta proporción se lleva a un 99%, la formación de cristales de hielo, así como su cantidad y tamaño están en relación, en primer lugar, con la rapidez con que se lleva a cabo la congelación.

Cuanto más veloz sea esta, tanto más elevado será el número de pequeños cristales que se formaran en las fibras musculares y en los espacios intercelulares (Genot, 2000). Si la congelación de la carne se realiza lentamente, es el agua intercelular la primera en congelarse a la vez que una parte del agua de la célula muscular difunde a través de las paredes. Por este mecanismo, se forman cristales grandes, indeseables, porque rasgan y dañan la estructura del tejido. Por esto disminuye la posibilidad de rehidratación (agua tisular) de las células musculares durante la descongelación, originando elevadas pérdidas por goteo. A este método de congelación en la que la velocidad de congelación

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

es lenta se conoce como congelación mecánica. La congelación de la carne es un proceso fundamentalmente seco, ya que por la congelación se inactivan, es decir, se inmoviliza el agua (con formación de cristales de hielo). Por esta circunstancia, o sea por las temperaturas de congelación la actividad de agua de la carne disminuye, esta reducción de la actividad de agua en la carne congelada es aproximadamente de 0.01 unidades por cada grado centígrado que desciende la temperatura de congelación. Cabe mencionar que incluso a temperaturas extremadamente bajas, solamente del 88 al 92% del agua puede transformarse en hielo; el resto del agua se llama incongelable (Martin, 2010).

El proceso de congelación es el siguiente y puede verse reflejado en la curva de congelación

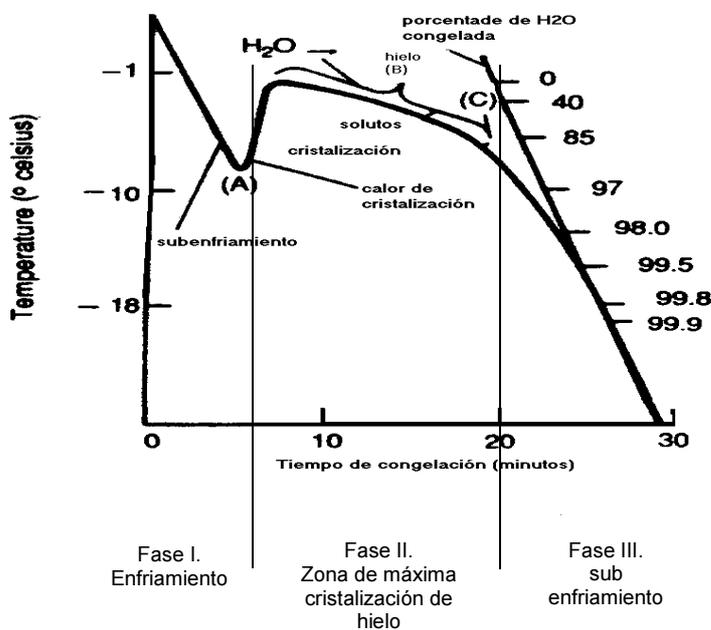


Figura 7. Curva típica de congelación, (Mallet, 1993)

La curva de congelación representa gráficamente el curso típico del proceso de congelación de alimentos. El diagrama varía según la influencia de los siguientes factores: método de congelación, tamaño, forma, composición química y propiedades físicas del producto (Orrego, 2008). La curva de congelación puede determinarse en 3 etapas o fases:

1° fase: En este se produce la refrigeración del producto a congelar, la temperatura desciende en forma rápida hasta la temperatura de nucleación o temperatura de congelación, no existe cambio de estado. Se conoce esta fase con el nombre de zona de pre-enfriamiento.

2° fase: Es el periodo de cambio de fase. Una vez que se alcanza el punto de congelación no se observa variación de la temperatura retirándose gradualmente el calor latente de solidificación, es decir, se produce gradualmente un cambio de estado. La curva adquiere una condición isotérmica.

3° fase: Se denomina periodo de templado o sub enfriamiento, una vez alcanzada la conversión total del agua en hielo nuevamente se inicia un gradual y permanente descenso de la temperatura. En alimentos, este comportamiento no es tan claro, ya que la conversión de parte de agua en hielo implica un incremento en la concentración de diversas sales en el agua líquida remanente, consecuentemente se produce un descenso en el punto de congelación.

Como se puede observar la congelación depende de diferentes variables como:

- Tiempo de residencia
- Temperatura del medio
- Temperatura del alimento
- Geometría y dimensión del producto
- La velocidad de congelación.

De las variables mencionadas anteriormente la velocidad de congelación tiene gran importancia ya dependiendo de ella se presentaran cambios en la carne y productos cárnicos (Orrego, 2008).

La velocidad de congelación aplicada en los alimentos y animales puede ocasionar modificaciones físicas debido a la cantidad de agua contenida en su interior. Si utilizamos baja velocidades de congelación el jugo intercelular poco concentrado se separa creando grandes cristales de hielo que rodean a las células. En el interior de las células existe un jugo más concentrado, el cual necesita un punto más bajo para iniciar la congelación. En esas condiciones el vapor de agua enfriada pero sin llegar a solidificarse en el interior de las células, provoca una difusión de vapor a través de las paredes celulares.

La baja velocidad de congelación provoca la formación de hielo intercelular. Este proceso sólo concluye cuando coagula totalmente el jugo celular, o cuando al interrumpirse la congelación, se restablece el equilibrio de la presión de vapor de agua en el interior de las células y en las paredes intercelulares. En consecuencia, un proceso de enfriamiento de esta clase, las retracciones celulares, van acompañadas de una alteración química y la formación de cristales de hielo en los espacios intercelulares, capaces de deformar y destruir el tejido.

Generalmente cuanto mayor es la velocidad de congelación, menores son las alteraciones provocadas por la congelación de esta fracción de agua. Con los modernos métodos se usa una elevada velocidad de congelación, en los cuales el espacio de tiempo entre la formación de hielo en los espacios intercelulares y en el interior de la célula es muy corto, creando además abundantes y pequeños cristales de hielo, que a diferencia de los grandes cristales de hielo formados por congelación lenta, ocasionan alteraciones estructurales (USDA, 2010). Aun cuando siempre existen modificaciones estructurales, la conservación de la carne por congelación constituye un método benigno para mantener la calidad. Su acción conservadora es atribuible a la capacidad de reacción correspondiente a la regla VRT (velocidad de reacción – temperatura), pues a medida que disminuye la

temperatura, menores son las transformaciones químicas y bioquímicas. Ahora bien, la velocidad de congelación elevada, es uno más de los factores que influyen para conseguir productos con alteraciones mínimas, pero no es el único en el proceso de conservación.

También cuentan las condiciones de depósito en un ambiente adecuado para conseguir los efectos deseados en la preservación. La utilización de una congelación adecuada en una planta moderna es de vital importancia, pues resulta cuestionable una elevación sostenida de la velocidad, tanto por razones de gastos energéticos como por resultados de calidad. Pues si usamos una velocidad de congelación muy elevada se produce una rápida formación de cristales de hielo, con un acentuado aumento de la presión interna. Como consecuencia de la rápida sustracción de calor, tiene lugar en cada una de las capas del producto un marcado desnivel térmico: mientras la temperatura superficial se encuentra ya muy por debajo del punto de congelación, el núcleo central de la pieza se encuentra todavía en estado de cambio de fase, (Horst-Dieter, 2001).

La velocidad de congelación determina el tipo de congelación que se está aplicando por lo que se encuentran los siguientes tipos de congelación de acuerdo a su velocidad de propagación:

1. **Congelación lenta** (mejor conocida como congelación mecánica, uso de cámaras de congelación, tiempo de congelación largo (horas)).
2. **Congelación rápida** (uso de túneles de congelación, el tiempo de congelación es menor que la congelación lenta pero se puede llevar cuestión de horas).
3. **Congelación ultrarrápida** (es conocida como congelación criogénica, la congelación puede llevarse en cuestión de minutos).

El presente proyecto muestra que tipo de congelación muestra menores o mayores efectos sobre atributos de calidad en carne de cerdo, se destinó trabajar con un método de congelación mecánica la cual ya fue explicada anteriormente, así mismo se eligió el método de congelación criogénica el cual es uno de los métodos de innovación a nivel industrial por lo que es importante mencionar algunas características de dicho método de congelación.

1.4.2. La congelación criogénica

Los alimentos deben congelarse tan cuidadosamente como sea posible para que al descongelarse permanezcan frescos y apetitosos cuando se sirvan. Un requisito previo para ello es la "congelación rápida". El agua contenida en las células debe congelarse muy rápidamente (más rápido de 5 cm/h) para asegurar la formación de cristales de hielo muy pequeños que no dañen la estructura de la célula (Messer, 2005). El nitrógeno criogénico o el dióxido de carbono no sólo consiguen esto con gran eficacia, sino que también de forma económica.

Una de las ramas de la ingeniería moderna, que más ha llamado la atención en los últimos años, es la criogenia, con la que se pueden lograr temperaturas extremadamente bajas. Para ello se hace uso de un criógeno como el nitrógeno líquido, el cual es un poderoso refrigerante (Méndez, 2008). La potencia del nitrógeno líquido es tal que congela muy rápido, con lo que se producen cristales de hielo muy pequeños, lo que evita

daños en los alimentos congelados. La criogenia en alimentos hace que estos no presenten pérdidas, al eliminar el goteo que se presenta con algunos métodos de conservación.

La criogenia ha venido a ganar popularidad y ha comenzado a ser usada en el transporte de alimentos congelados. Consecuentemente, ya se aplica en buques cargueros, en los que antes de zarpar con su carga, a ésta se le suministra un refrigerante criógeno (Sawa, 2009). Todo esto permite que la carga viaje por grandes distancias, sin verse afectada por ello o por el tiempo del viaje.

Cuando se tiene nitrógeno líquido en un recipiente cerrado, se reduce la temperatura de éste con lo que se crea un sistema de refrigeración muy eficiente. Es tal la efectividad de la criogenia que desde hace varios años se usa para la conservación de partes del cuerpo humano, y hasta de cuerpos completos. Ahora este adelanto puede ser aplicado en alimentos, en los que los resultados de conservación son superiores al de los métodos tradicionales.

La congelación con nitrógeno líquido se realiza a temperaturas muy bajas (-196°C), ya sea por inmersión, por contacto indirecto o por aspersión, dependiendo de las características del alimento. Este tipo de congelación permite mantener la calidad de los productos mejor que los otros debido a que:

- Crea microcristales de hielo que no deforman la célula evitando las pérdidas de textura y deshidratación, manteniendo la calidad del producto
- El producto no se deforma al no existir ráfagas de aire.

El nitrógeno no es reactivo y no oxida a los alimentos por lo tanto a diferencia de los sistemas de ráfaga de aire permite mantener mejor su color y apariencia (Praxair, 2013).

Dentro de los beneficios que se encuentran al aplicar la congelación criogénica, se encuentran:

- Congelación de alta calidad
- Pérdidas mínimas de agua
- Formación de pequeños cristales, con mínima deformación de la estructura del producto.
- Mantiene el sabor, textura y apariencia del alimento.
- La calidad del producto es mayor que en los sistemas convencionales.
- Satisfacción del consumidor por calidad de los productos.

1.4.3. Descongelación de carne

La descongelación es un proceso en el cual los cristales de hielos formados en la carne durante la congelación se funden por el aumento de la temperatura del medio, la finalidad de la descongelación es de regresar al alimento a sus condiciones más parecidas a su estado inicial mejor conocido como fresco (CAC, 1976). Como ya se sabe al descongelar

el producto no regresa en su totalidad a las características que presentaba al estar fresco gran parte de este se debe al tipo de congelación al cual fue sometido.

Entre los problemas que se dan durante la descongelación de la carne se destaca la pérdida de agua o exudación de jugos: la alteración de las proteínas y de la estructura celular debido a la congelación entraña una disminución de la capacidad de retención de 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 la exudación.

Gracias a esa exudación de la carne se llevan a cabo pérdidas de color debido a la eliminación de la pigmentación de la carne, además de la pérdida de color por exudación también esto se ve afectado por la exposición de la carne al oxígeno del medio.

Hay tres maneras seguras para descongelar la carne:

- Por refrigeración
- Por uso de agua fría
- Uso de microondas u hornos

La manera adecuada para la descongelación de carne es mediante la refrigeración ya que al aumentar la temperatura de bajo cero a 4°C los cristales de hielo se funden, cabe mencionar que debido a la aplicación de aire frío la temperatura de refrigeración puede inactivar algunas reacciones ya sean microbiológicas, físicas o químicas (USDA, 2005).

La nueva novedad para descongelar la carne y productos cárnicos es mediante el uso de hornos convectivos, en el siguiente proyecto se utiliza un horno convectivo el cual opera con el uso de rayos infrarrojos y halógeno, es un sistema cerrado en el cual mediante el uso de un ventilador mecánico envía el aire caliente de manera homogénea directamente al alimento. Las corrientes de aire caliente descienden sobre el alimento, gira por sus costados y luego haciendo de regreso al ventilador. Dicha aplicación de calor permite que la carne se descongele en cuestión de minutos pero cabe mencionar que suele afectar las características del producto debido a que se presenta una ligera evaporación del agua de la carne, pero permite obtener carne con características semejantes a la fresca (Flavor wave turbo, 2007).

1.4.4. La cocción

Cocción método de conservación que consiste en la aplicación de calor a altas temperaturas, mejora calidad microbiana, cambia características sensoriales y afecta características físicas del producto (Sawa, 2009).

Durante la cocción de la carne se pierde agua en medida proporcional a la temperatura que se someta. Esta pérdida de agua hace que suba la concentración de otros componentes. Pero paralelamente hay pérdida de nutrientes hidrosolubles, fundamentalmente vitaminas y minerales.

Actualmente los tratamientos térmicos tienen efectos benéficos sobre las proteínas: la temperatura aumenta la energía cinética de la molécula y su motilidad, provocando desnaturalización y, por tanto, la pérdida de las estructuras secundarias, terciaria y cuaternaria si la tiene. Esto se traduce en un ataque enzimático más fácil por disminución

de los impedimentos estéricos que ofrece la proteína y, por tanto, mayor digestibilidad y aprovechamiento (Lawrie, 1987).

El colágeno se gelatiniza con lo que la carga microbiana se reduce y con ello se evitan los cambios de olor y sabor. Cambios debido al incremento de la temperatura:

- A 40°C se da la coagulación de las proteínas y la pérdida de brillo
- A 50°C se acortan las fibras y se exuda el agua (disminuye CRA)
- A 70°C se rompe la estructura de la mioglobina y se pierde el color rojo.

Las propiedades sensoriales físicas y químicas varían en función del método utilizado para el tratamiento térmico. En general la temperatura aumenta la ternura de la carne (Flavor wave turbo, 2007).

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

2.1. Planteamiento del problema.

Efecto de la formación de cristal durante la congelación de carne de cerdo sobre sus atributos de calidad.

2.2. Objetivos e hipótesis.

2.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la congelación criogénica y mecánica, así como de la cocción controlada, en lomo de cerdo (*Longissimus Dorsi*), mediante la determinación de atributos de calidad a partir de algunos parámetros físicos (A_w , pH, Color y dimensión) y la degradación de proteína.

2.2.2. Objetivos particulares

- 1-. Estandarizar los equipos de congelación y cocción, mediante la determinación de la velocidad de aire en cámara y horno, así como la determinación de las temperaturas de operación para la obtención de las condiciones adecuadas del proceso.
- 2-. Evaluar el efecto de la velocidad de congelación y formación de cristales durante la congelación criogénica y mecánica de lomo de cerdo, mediante la determinación de los parámetros: A_w , pH, color, cambios en la dimensión y la degradación proteica.
- 3-. Evaluar el efecto de la cocción convencional controlada en lomo de cerdo, empleando un horno convectivo, sobre los parámetros: A_w , pH, color, cambio en la dimensión y degradación proteica.

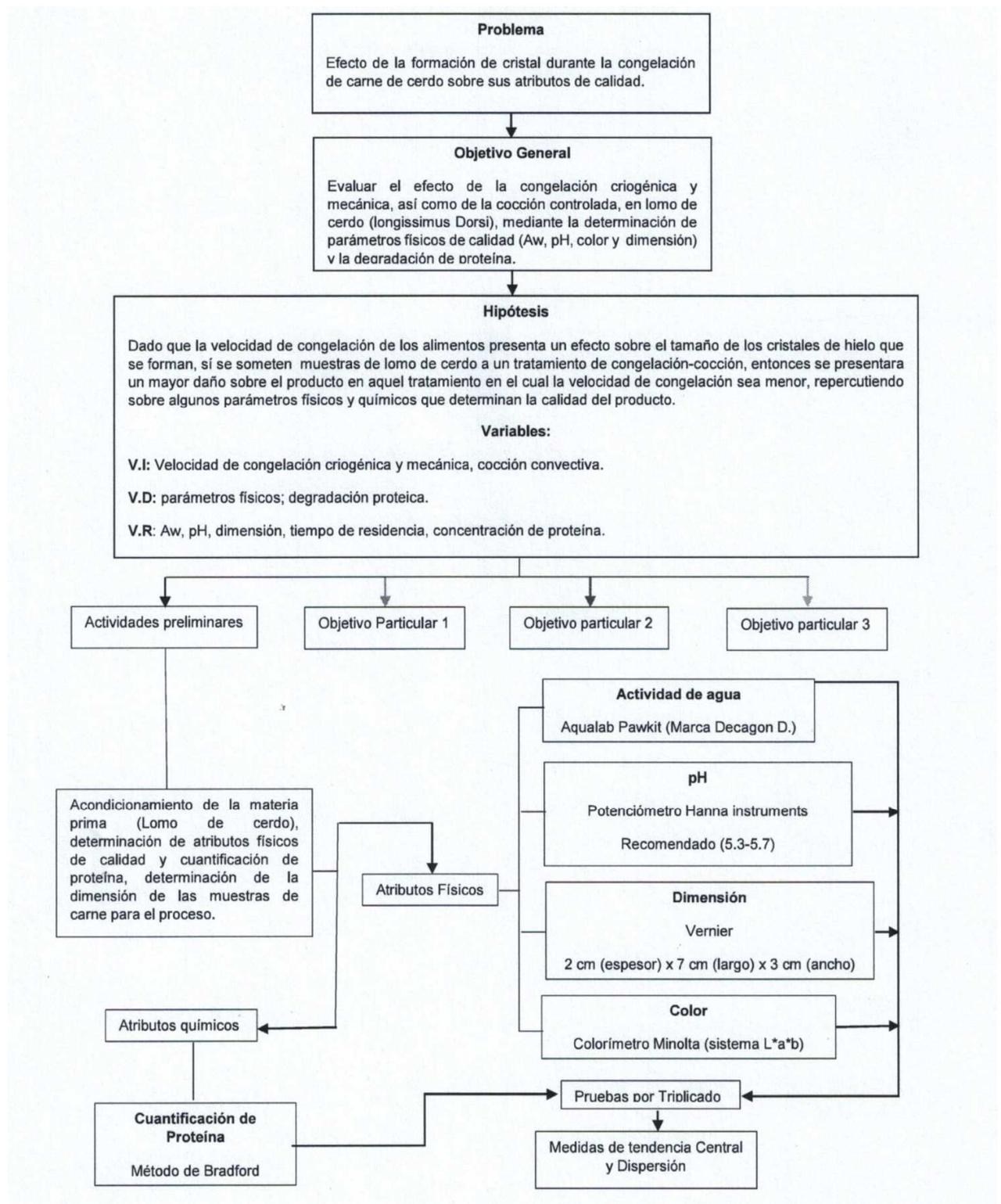
2.2.3. Hipótesis

Dado que la velocidad de congelación de los alimentos presenta un efecto sobre el tamaño de los cristales de hielo que se forman, si se someten muestras de lomo de cerdo a un tratamiento de congelación-cocción, entonces se presentará un mayor daño sobre el producto en aquel tratamiento en el cual la velocidad de congelación sea menor, repercutiendo sobre algunos parámetros físicos y químicos que determinan la calidad del producto.

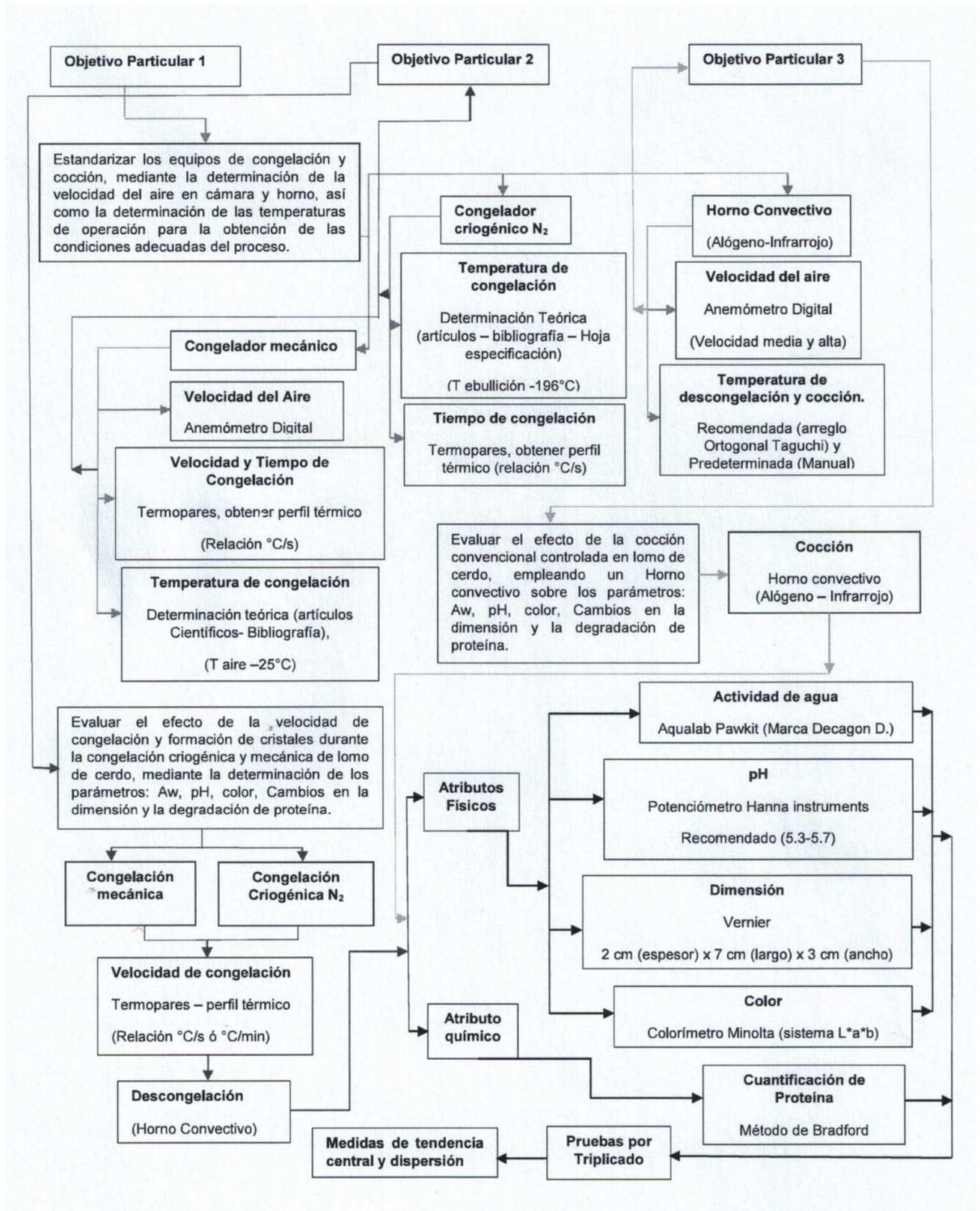
2.2.4. Variables

- **V.I:** Velocidad de Congelación criogénica y mecánica; Cocción convectiva.
- **V.D:** Parámetros físicos; degradación proteica.
- **V.R:** A_w , pH, dimensión, tiempo de residencia; concentración de proteína.

2.3. Cuadro metodológico:



CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE



2.4. Desarrollo experimental

2.4.1. Actividades preliminares

Se consideró conveniente mantener como constantes del estudio: la raza, edad, sexo, tipo de matanza, tiempo postmortem. Se utilizó carne fresca obtenida 48 h después de la matanza de cerdos raza Duroc- Jersey, macho capado, 6 meses de edad con peso de 110 Kg. El corte sobre el que se realizó el estudio fue *longissimus dorsi*, parte del cerdo característico por su limpieza lipídica con peso promedio de 3.7 Kg. Se obtenían de un mismo proveedor para garantizar que los cambios en los análisis fueran provocados por el efecto de los tratamientos y no por otras variables.

Una vez obtenida la carne, ésta fue seccionada en rebanadas procurando mantener el peso y la forma lo más homogénea posible para observar posteriormente si existían cambios en sus dimensiones conforme se aplicaban los tratamientos térmicos (Congelación, descongelación y cocción). La medición de las dimensiones de la carne se realizaron con un Vernier. Previamente a que se sometiera la carne a tratamiento térmico se le realizaron la evaluación de sus atributos de calidad valuados por parámetros físicos y químicos:

- Color, mediante la técnica de colorimetría L^*a^*b (equipo Colorímetro Minolta CR300).
- Aw, mediante uso de Aqualab Pawkit (marca Decagon Devices)
- pH, el uso del potenciómetro (Marca Hanna Instruments)
- Degradación de la cantidad de proteína, mediante la cuantificación de proteína por el método de Bradford.

2.4.1.1 Determinaciones de color de la carne mediante el uso del Colorímetro Minolta CR300.

Se determinó en sistema CIELAB, espacio de color (L , a y b), en un equipo Minolta CR-300, el cual se calibró diariamente previo a la realización de las mediciones, para dicha calibración el equipo se colocó sobre la muestra de blanco, se tomó la lectura de parámetros de color L^*a^*b y se contrastaron los resultados con los establecidos del blanco, una vez concordando los parámetros, el equipo se consideró listo para su uso.

Para la medición, el equipo se colocó sobre la muestra de carne y se tomó la lectura directamente, las lecturas se realizaron por triplicado variando tres veces su posición, se registraron así tres valores para las coordenadas L , a y b (C.I.E. 1976), y posteriormente se obtuvo el promedio de cada una y su respectiva desviación estándar, determinando al final si había variación entre las repeticiones. Cabe mencionar que las lecturas de color se realizaron a la carne sometida a los tratamientos térmicos ya mencionados anteriormente determinando la degradación o variación de color en dichos tratamientos.

2.4.1.2. Determinación de la actividad de agua de la carne mediante el uso de Pawkit Decagon Devices.

El análisis de actividad de agua en la carne es de suma importancia debido a la influencia que tiene dicho parámetro sobre la conservación de la misma y en actividades bioquímicas. Esto tiene mayor relevancia debido a los procesos térmicos a los cuales es

sometida la carne, como es el caso de la congelación, descongelación y cocción, ya que debido a ellos, hay cambios de esta variable. La determinación de la actividad de agua se realizó mediante el uso del equipo Pawkit (Water activity meter), la determinación se hizo por triplicado para cada muestra sometida los diferentes tratamientos térmicos.

Primeramente el equipo se calibró antes de la determinación de cada muestra cárnica. La calibración se realizó de acuerdo al manual de operación del equipo.

Una vez calibrado se prosiguió con la determinación de la actividad de agua de las muestras cárnicas de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Abrir la compuerta de seguridad que protege al sensor medidor, dicha compuerta se encuentra en la parte inferior del equipo.
2. Encender el equipo presionando el botón con leyenda (I) y colocación de la muestra.
3. La muestra de carne debe cubrir la tercera parte de la charola, la muestra se distribuye uniformemente.
4. Colocar la charola directamente en el lector y se oprimir el botón de inicio de lectura que tiene la señal (I), después de que el equipo toma la lectura, efectúa un sonido el cual indica la finalización de la prueba.
5. Extraer la charola del equipo y proseguir con la limpieza.

2.4.1.3. Determinación del pH mediante el uso del potenciómetro (fivestar) y un electrodo de punción Hanna Instruments.

La influencia del pH sobre las características de color, terneza, sabor, capacidad de retención de agua y tiempo de conservación, son las razones por las que el pH, no sólo afecta a las propiedades organolépticas de la carne, sino también a su calidad higiénica y a su aptitud tecnológica para la elaboración de productos cárnicos. Se esperaba que por los cambios de disminución y aumento de temperatura, el pH cambiaría por efecto de la desnaturalización de proteínas, por lo que éste parámetro se evaluó durante la experimentación.

La determinación del pH se realizó por triplicado para cada corrida experimental planteada, el equipo utilizado fue un potenciómetro Thermo Modelo FiveStar y un electrodo de punción Hanna Instruments.

El equipo se calibró previamente a la toma de la lectura de acuerdo con lo establecido en el manual de operación del mismo.

Una vez calibrado el equipo, se prosiguió a la toma de pH:

1. Se armó el equipo colocando el electrodo apropiado para la toma de lectura directa en carne, el cual se limpió cuidadosamente con agua destilada y con algodón.
2. Se encendió el equipo y se esperó a que se estabilizara.
3. Se colocó la muestra de carne penetrando la misma con el potenciómetro de manera que el electrodo estuviese dentro de la carne.
4. Se tomó la lectura después de que el símbolo (sol) que se encuentra en la pantalla del equipo dejó de parpadear.

5. Se realizó la extracción de la muestra y se prosiguió con la limpieza del equipo pasando cuidadosamente por el electrodo, agua destilada y un trozo de algodón.

2.4.1.4. Cuantificación de proteína mediante el método de Bradford.

Se basa en la unión de un colorante, Coomassie Blue G-250 (también Serva Blue) a las proteínas. El colorante, en solución ácida, existe en dos formas una azul y otra naranja. Las proteínas se unen a la forma azul para formar un complejo proteína-colorante con un coeficiente de extinción mayor que el colorante libre. Este método es sensible (1-15 µg), simple, rápido, barato y pocas sustancias interfieren en su determinación. Entre las sustancias que interfieren están los detergentes y las soluciones básicas (Bradford, 1976).

Para llevar a cabo la cuantificación de proteínas primeramente se realizó la extracción de concentrados de proteína del lomo de cerdo. La extracción de proteína se realizó mediante soluciones salinas. La solución salina solubiliza las proteínas de la carne y relaja las proteínas miofibrilares, dichas sales incrementan la fuerza iónica del medio así como el pH posibilitando la abertura de las cadenas y la extracción de las proteínas. La extracción se llevó de la siguiente forma:

Se utilizaron 50 gramos de la muestra de carne, se acondiciono a que llegara a temperatura ambiente para poder ser triturada y homogenizada con solución salina al 3%, posteriormente se centrifugó a 3000 rpm por un tiempo de 15 minutos. Al sobrenadante se le añadió etanol en relación 1:1 y se colocó en refrigeración por 24 h. Se evaporó el etanol y se analizaron las muestras por el método de Bradford. La muestra para el análisis se obtiene del precipitado que quedo después de haber agregado el etanol al jugo cárnico.

2.4.1.5. Método de Bradford para la determinación de proteínas es una técnica rápida y sensible de cuantificación que utiliza el reactivo de Bradford (bio-rad).

Utiliza como reactivos la solución de azul brillante de Coomassie G-250; ésta solución se obtiene al disolver 100 mg en 50 mL de etanol al 95%, se agregan 100 mL de H₃PO₄ al 85% (w/v), se diluye a un litro (solución de Bradford kit Bio-Rad)(Bio-.Rad, California)

La cuantificación de proteína del lomo de cerdo se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Pipetear en un tubo de ensayo de 12x100 mm 0.1 mL de la solución de proteína conteniendo entre 10 y 100 µg.
2. Agregar 5 mL de reactivo kit Bio-Rad y mezclar por inversión o vortex.
3. Medir la absorbancia a 595 nm después de dos minutos y antes de una hora. El blanco deberá contener 0.1 mL del buffer adecuado y 5 mL de reactivo de comassie.
4. Calcular la concentración de proteína de la muestra por interpolación en curva patrón.

Después de la determinación de los parámetros se realizó una tabla con los resultados obtenidos para así contrastar los datos obtenidos para la carne fresca con los datos obtenidos con la carne sometida a los diferentes tratamientos térmicos (congelación criogénica y mecánica, así como la descongelación y la cocción).

2.4.2. Estandarización de los equipos de proceso y obtención de las condiciones de proceso

2.4.2.1. Determinación de temperatura

Se trabajó con 5 termopares de cobre-constantan, tipo T, la validación de los termopares, se llevó a cabo con agua destilada, evaluando linealidad, precisión y exactitud, empleando para ello, parrilla eléctrica, vaso de precipitados y un banco de adquisición o lector de temperaturas (Stanford Research System modelo SR630, Sunnyvale, CA). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.4.2.2. Determinación de la velocidad de aire

Para determinar la velocidad del aire de la cámara de congelación de Torrey modelo CV, México, con capacidad de 14 ft³ con enfriamiento de convección forzada y con gas refrigerante R-404^a con deshielo automático por resistencia. Para el equipo de descongelación-cocción, se utilizó un Termoanemómetro Extech instruments, el cual opera mediante el uso de baterías extraíbles, este equipo nos permitió obtener los resultados de velocidad en unidades de m/s (metros/segundo) lo cual nos permitirá diferenciar la manera de operar los equipos convectivos ya sea a alta o baja temperatura.

2.4.2.3. Cámara de congelación

Primeramente se determinara la velocidad de aire dentro de la cámara de congelación, se dividió en 16 zonas, 4 por cada charola; en la parte central de cada sección se determinó la velocidad del aire por triplicado. La determinación de la velocidad de aire consistió en colocar el anemómetro digital en diferentes zonas, con los siguientes pasos:

1. Dejar al descubierto el sensor del anemómetro.
2. Prender el equipo y esperar a que se estabilice, así mismo determinar en qué unidades se desea que se reporten los resultados ya sea en (m/s) o (pies/s).
3. Colocar el anemómetro dentro de la cámara de congelación y tomar la lectura.

2.4.2.4. Horno convectivo

De acuerdo a las características del horno Flavor Wave turbo se destinó a trabajar con dos velocidades de aire para llevar a cabo la descongelación y la cocción, estas velocidades fueron alta y media. El equipo cuando opera es un circuito cerrado, en el cual la velocidad de aire se mantiene constante debido a que no hay fugas de aire dentro del equipo. Se determinó la velocidad de aire con el termoanemómetro Extech instrument, la

medición se realizó por triplicado. El procedimiento se llevó de la misma forma que como se midió en la cámara de congelación.

2.4.2.4.1. Determinación de las condiciones de descongelación del lomo de cerdo congelado criogénicamente y mecánicamente.

Para la determinación de las condiciones adecuadas de descongelación se requirió de un diseño estadístico debido a las variables que están implicadas en este estudio.

Las variables que se consideraron fueron las siguientes:

- Velocidad de aire
- Tiempo de descongelación,
- Altura de la rejilla para carne

Para determinar las condiciones adecuadas, se decidió trabajar con un arreglo ortogonal Taguchi. El arreglo ortogonal es el L^8 (2^6) nos permitió trabajar con las 3 variables independientes a 2 niveles de variación y las interacciones entre ellas, en 8 corridas experimentales. El arreglo se presenta de la siguiente manera:

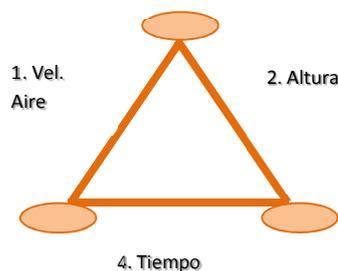


Figura 8. Representación del arreglo ortogonal.

Cuadro 4. Niveles de variación de las variables involucradas en la descongelación.

Temperatura °C	Altura cm	Tiempo min	Vel aire m/s
80	1	1	Media
	2	2	Alta

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

Cuadro 5. Arreglo ortogonal TAGUCHI corridas experimentales de acuerdo a las variables de operación.

No.-Col	1.- Vel	2.- Altura (cm)	3.- V x A	4.- Tiempo (min)	5.- V x t	6.- A x t
1	Media	1	1	1	1	1
2	Media	1	1	2	2	2
3	Media	2	2	1	1	2
4	Media	2	2	2	2	1
5	Alta	1	2	1	2	1
6	Alta	1	2	2	1	2
7	Alta	2	1	1	2	2
8	Alta	2	1	2	1	1

La temperatura de descongelación seleccionada fue de 80 °C, dicha temperatura se manejó a lo largo de la experimentación. La temperatura de descongelación se determinó del mismo manual de operación del horno. Las variables como la velocidad de aire y la altura de dentro del equipo son tomadas de acuerdo a las características del horno, este cuenta con dos rendijas en la que se coloca la carne para llevar a cabo la descongelación y la cocción dependiendo de las características.

Para establecer los tiempos de descongelación experimental se realizó la descongelación de cubos de hielo con dimensiones semejantes a las muestras de carne. Los cubos en descongelación en el horno convectivo, sirvieron para determinar los historiales térmicos, el tiempo total de descongelación y la cantidad de agua descongelada, para a partir de eso preestablecer las condiciones adecuadas para la descongelación de carne.

Las condiciones de descongelación se seleccionaron considerando el mayor porcentaje de agua descongelada, relación de pesos como se indica en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ agua descongelada} = \frac{\text{Peso de hielo}_{\text{inicial}} - \text{Peso de hielo}_{\text{final}}}{\text{Peso de hielo}_{\text{inicial}}} \times 100$$

2.4.3. Congelación y descongelación de las muestras cárnicas y análisis físico-químicos.

Para cumplir las actividades del objetivo particular 2 se sometieron 12 muestras a congelación mecánica en la cámara de congelación, se controló la temperatura a -25 °C, con tiempo de congelación de 24 horas. Las muestras de carne se pesaron antes de congelar, después de congelar descongeladas. La descongelación se llevó a cabo en el horno convectivo con las condiciones establecidas en el particular objetivo 1. Una vez que se descongeló la carne se le realizó la determinación de los parámetros físicos y químicos.

Posteriormente se sometieron 12 muestras de carne a congelación criogénica con nitrógeno líquido (N₂), la congelación se hizo por contacto indirecto, usándose una placa

de acero inoxidable. Se obtuvieron perfiles térmicos para determinar el tiempo final de congelación a -196°C .

De igual manera se llevó a cabo la descongelación de la carne mediante el horno convectivo bajo las condiciones obtenidas en las el objetivo particular 1. Y se realizó la determinación de los atributos de calidad valuados por parámetros físicos y químicos mencionados en las actividades preliminares.

2.4.4 Cocción de las muestras cárnicas y análisis físico-químicos.

Se realizó la cocción de la carne sometida a congelación criogénica y mecánica. La cocción se llevó en el horno convectivo donde se sometieron 6 muestras a cocción a una temperatura de 205°C y 6 muestras a cocción a una temperatura de 235°C . Las muestras de carne fueron colocadas para su cocción en el centro del horno a una altura de 1.7 cm de distancia entre el piso y la superficie.

A cada muestra de carne durante su cocción se le introdujo un termopar con la finalidad de obtener su historial térmico y así detener la cocción en el momento en que el centro geométrico llegue a una temperatura de 70°C , a dicha temperatura se realizan cambios que se vieron reflejados en los atributos físicos y químicos que afectan la calidad del producto. Posteriormente se prosiguió a determinar los parámetros físicos y químicos ya mencionados anteriormente, como son el pH, Aw, color, dimensión y la degradación de proteínas.

2.5. Tratamiento estadístico para el análisis de resultados de los parámetros físicos y químicos.

El análisis de resultados durante toda la experimentación se manejó el tratamiento de medidas de tendencia central en este caso fue la media la cual se describe:

La media es la suma de los valores de los elementos dividida por la cantidad de éstos. Es conocida también como promedio, o media aritmética.

Fórmula de la media:

$$\text{Media Poblacional} = \mu = \frac{\sum X}{N}$$

\sum = sumatoria

μ = media

N = número de elementos

X = valores o datos

El análisis de los resultados correspondientes a cada objetivo se trató de la siguiente manera, se sometió a un análisis estadístico de Tukey y los resultados se representaron

en un gráfico de caja y bigote.

2.5.1. Método de Tukey o Método de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey

La prueba de Tukey es la prueba más aplicada y preferida por los estadísticos, pues controla de mejor manera los dos errores ampliamente conocidos en la estadística (α y β) (Montgomery 2003). Esta prueba permite hacer todas las posibles comparaciones de tratamientos de dos en dos, y por eso se considera la más completa de las tres pruebas aquí descritas.

Este procedimiento fue propuesto por Tukey (1952) para probar la hipótesis $H_0 : \mu_j = \mu_k (j \neq k)$.

Este método es muy similar en la aplicación al de DMS, salvo por el hecho de que en lugar de utilizar las distribuciones de t como base para realizar las comparaciones, se emplea la distribución del rango estandarizado o estudentizado

$$Q_{\alpha,t,r} = \frac{(\bar{y}_i - \bar{y}_{i'}) - (\mu_i - \mu_{i'})}{\sqrt{\frac{CM_{EE}}{r}}}$$

Se rechaza $H_0 : \mu_i = \mu_{i'}$ si

Nosotros comparamos $|\bar{y}_i - \bar{y}_{i'}|$ con $Q_{\alpha,t,gl,error} \sqrt{\frac{CM_{EE}}{r}}$

$$|\bar{y}_i - \bar{y}_{i'}| \geq Q_{\alpha,t,gl,error} \sqrt{\frac{CM_{EE}}{r}}$$

Donde $Q_{\alpha,t,r}$ es el α -ésimo percentil de la distribución rango estandarizado. Tablas para hallar los valores de $Q_{\alpha,t,gl,error}$ son dadas por Harter (1960), Hochberg and Tamhane (1987). En esta prueba se utiliza un sólo valor con el cual se comparan todos los posibles pares de medias.

2.5.2. Diagrama de caja y bigote

El diagrama de caja es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la simetría o asimetría y la identificación de observaciones atípicas (Solanas, 2005). El diagrama de caja representa los tres cuartiles, y los valores mínimo y máximo de los datos sobre un rectángulo (caja), alineado horizontal o verticalmente.

Construcción:

1. El rectángulo delimita el rango intercuartílico con la arista izquierda (o inferior) ubicada en el primer cuartil Q_1 , y la arista derecha (o superior) en el tercer cuartil Q_3 .
2. Se dibuja una línea a través del rectángulo en la posición que corresponde al segundo cuartil (que es igual al percentil 50 o a la mediana), $Q_2 = Md$.
3. De cualquiera de las aristas del rectángulo se extiende una línea, o bigote, que va hacia los valores extremos (valor mínimo y valor máximo). Estas son observaciones que se encuentran entre cero y 1.5 veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo.
4. Las observaciones que están entre 1.5 y 3 veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo reciben el nombre de valores atípicos. Las observaciones que están más allá de tres veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo se conocen como valores atípicos extremos. En ocasiones se emplean diferentes símbolos (como círculos vacíos o llenos), para identificar los dos tipos de valores atípicos.

A veces, los diagramas de caja reciben el nombre de diagramas de caja y bigotes. Nótese que el rectángulo o caja representa el 50% de los datos que particularmente están ubicados en la zona central de la distribución. La caja representa el cuerpo de la distribución y los bigotes sus colas.

Del diagrama se interpreta que la distribución de los datos es asimétrica por la derecha, ya que la longitud de los rectángulos por debajo y por encima de la mediana así como los bigotes indican que los datos están más agrupados en sus valores inferiores que en los superiores y además se observa que $X > Md$. También destaca la existencia de dos valores atípicos en el extremo superior de los datos.

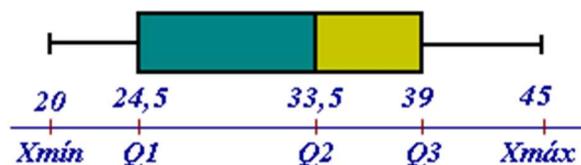


Figura 9. Diagrama de caja y bigote, representando sus partes significativas

3.0 RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Resultados de actividades preliminares

3.1.1. Acondicionamiento de la carne:

Se utilizó carne de cerdo (*Longissimus dorsi*) proveniente de rastro TIF, dicho rastro se encuentra en el Estado de México, la carne mostró las siguientes características:

- Higiene, buen aspecto físico (olor, color).
- Limpieza de tejido, libre de tejido adiposo visible.

De acuerdo a las características del lomo se consideraron las siguientes dimensiones:

Largo 7cm, ancho 3 cm y 2 cm de espesor.

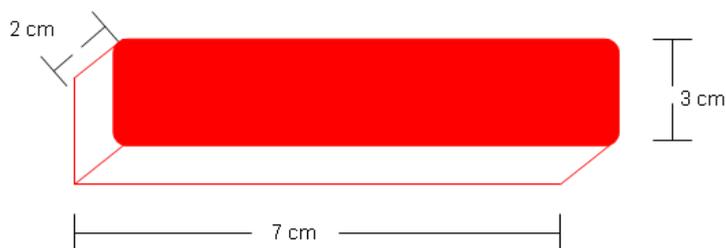


Figura 10. Dimensiones de las rebanadas de carne

Todos los análisis se realizaron utilizando como plataforma de análisis el programa MINITAB 14. Las medidas de tendencia central (promedio o media y mediana), de dispersión (rango, desviación estándar, coeficiente de variación) y de comportamiento (Kurtosis y coeficiente de asimetría o sesgo).

Cuadro 6. Resultados experimentales de parámetros físicos evaluados en carne fresca, provenientes de 4 corridas experimentales

Variable	Media	Mediana	Rango	Desv. Est.	Coef. Var.	Sesgo	Kurtosis
peso	38.27	39.27	12.62	3.75	9.8	0	-0.51
Aw	0.9100	91%	0.01	0.00492	0.54	0.81	-1.65
pH	5.573	5.605	0.29	0.1432	2.56	-0.02	-2.41
L*	52.667	52.655	5.99	2.383	4.53	-0.12	-1.67
a*	7.357	7.85	5.37	2.138	29.07	-0.32	-1.78
b*	3.58	4.06	3.81	1.619	45.22	-0.53	-1.97

Los valores promedio de cada variable representa la medida de tendencia central más utilizada, que considera todos los resultados analizados; la mediana o valor central nos indica que existe el 50% de valores superiores e inferiores a la misma. En todos los

casos, la media y la mediana son muy similares por lo que se asume que no existe sesgo o falta de nivelación.

Las medidas de dispersión, representada inicialmente con el Rango (valor máximo -valor mínimo), son superiores en los pesos iniciales de cada muestra e inferiores en la Aw y el pH; sin embargo se requiere recordar que pequeñas variaciones pueden ser importantes en estas variables. La Aw, definida como la relación que existe entre la presión de vapor de un alimento dado en relación con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, tiene una gran influencia en el crecimiento de los microorganismos: los que más agua requieren son las bacterias (>0.91), después las levaduras (>0.88), y finalmente los hongos (>0.80); de todos, las bacterias patógenas son las que necesitan actividades acuosas mayores para su crecimiento, mientras que las levaduras osmófilas se pueden desarrollar en AW muy reducidas. El pH al ser una unidad logarítmica, no tiene unidades de medida pero un cambio en ella es muy importante, ya que por ejemplo, un pH de 9 es diez veces más básico que uno de 8 y entre 8.2 y 8.5, se duplica la basicidad del medio.

La desviación estándar, es la raíz cuadrada del promedio de las desviaciones al cuadrado de los datos a partir de su media, o sea su varianza, expresada en valores positivos y negativos y, por ser la raíz cuadrada, representa una variación “absoluta” entre los valores. El coeficiente de variación, dado en porcentaje, da la dispersión relativa de la desviación estándar con respecto a su media, por lo tanto es una medida de la precisión, en el caso de los componentes del color a* (eje verde-rojo) y el componente b* (eje azul-amarillo), se presentan los porcentajes superiores indicando gran dispersión con respecto a la media y se consideran datos dispersos y poco confiables, ésta variable de salida también está relacionada con la Kurtosis, que es la medida de apuntalamiento concentrada en un punto central, y presenta con valores negativos un comportamiento platicúrtico (colas cortas y aspecto aplanado o de meseta).

El coeficiente de asimetría o sesgo, al presentar valores iguales a cero (As=0 como en el caso de los pesos iniciales) dan distribución simétrica; con As <0, representa asimetría negativa con carga de valores individuales a la izquierda de la distribución y con As>0, se presenta asimetría positiva a la derecha.

3.1.2. Determinación de la velocidad de aire.

Determinación de la velocidad de aire dentro de la cámara de congelación y horno conectivo:

La determinación se llevó por triplicado, utilizando un anemómetro digital.

Cuadro 7. Velocidad de los equipos de congelación y cocción.

Repetición	Cámara congelación	Vel. media Horno	Vel. alta horno
1	1,7	5,1	7,4
2	1,7	4,9	7,2
3	1,7	4,8	7,1
Media	1,7	4,933	7,233
Desv. Est.	0	0,152	0,152
Coef. Var.	0	3,096	2,111

La cámara de congelación opera a una velocidad de aire de 1.7 m/s, esta velocidad permite que el alimento no se congele de manera rápida como se espera con la congelación criogénica. A esta velocidad del aire se habla de una congelación lenta, donde la formación de cristales se es extracelular con tamaño de cristal mayor a la congelación criogénica causando daños estructurales, viéndose reflejados posteriormente en los tratamientos de descongelación y cocción.

Se determinó la velocidad de aire con la que opera el equipo de descongelación – cocción, el horno convectivo. El equipo opera a 3 velocidades de aire la baja, media y alta, sin embargo se seleccionaron la velocidad media y alta con la finalidad de determinar su efecto sobre los parámetros de calidad. La velocidad de aire fue:

- Media = 4.9 m/s
- Alta = 7.2 m/s

3.1.3. Determinación del tiempo de descongelación

Se utilizaron cubos de hielo con dimensiones similares a las muestras de carne para determinar el tiempo total de descongelación de los mismos, resultados que se presentan en la figura 11, correspondiente a condiciones de velocidad media del aire y temperatura de operación fue de 80°C

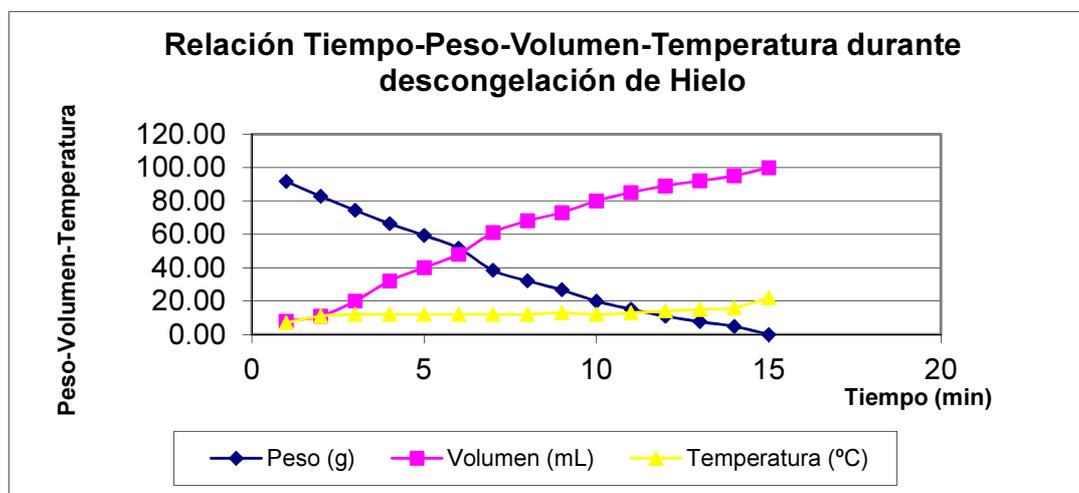


Figura 11. Relación peso-temperatura-volumen con respecto al tiempo en descongelación de cubos de hielo.

Como puede observarse, a los 15 minutos de tratamiento, el peso del hielo disminuyó de 91.66 gr hasta su fusión total, considerada como peso de hielo de 0 gr; el volumen corresponde al estado líquido del agua durante la fusión y el aumento de temperatura dentro del horno.

Para establecer las condiciones adecuadas descongelación del mismo hielo, se realizaron las corridas experimentales explicadas en el capítulo de metodología, los resultados de % de descongelación se presentan en el cuadro 8.

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

Para determinar el % de contribución de las variables de operación del horno sobre la variable de respuesta, se realizó el correspondiente análisis de varianza, resultados que se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 8. Relación de porcentaje de agua descongelada en cubos de hielo.

Corrida	% Agua Descongelada
1	63,434
2	96,442
3	65,944
4	90,978
5	62,339
6	93,389
7	60,438
8	93,445

Cuadro 9. Análisis ANOVA de acuerdo al arreglo Taguchi importancia de las variables durante la descongelación de hielo

Col	DF	SC	CM	% de contribución
1	1	6,48	6,48	0,34
2	1	2,88	2,88	0,15
3	1	0,15	0,15	0,01
4	1	1863,55	1863,55	98,37
5	1	4,53	4,53	0,24
6	1	4,53	4,53	0,24
7	1	12,35	12,35	0,65
total	7			100

De acuerdo a cuadro anterior, se puede observar que la variable que tuvo mayor efecto durante la descongelación fue el tiempo de residencia dentro del horno conectivo y las otras variables como no influyen de manera significativa sobre la descongelación. Se optó por trabajar con una velocidad de aire media correspondiente a 4.9 m/s, de altura rejilla 1.7 cm. y una temperatura de operación de 80 °C, y tiempo de residencia de 15 minutos.

3.2. Obtención de las curvas de congelación mecánica-criogénica así como la descongelación y cocción de las muestras de lomo de cerdo.

A lo que concierne al objetivo particular 2 antes de realizar el análisis de los diferentes tratamientos térmicos sobre las muestras cárnicas cabe resaltar que:

- No se obtuvo historia térmica durante la congelación mecánica del lomo de cerdo debido al tiempo de congelación, el tiempo fue de 24 horas.
- De acuerdo a la congelación criogénica de lomo de cerdo se obtuvieron las siguientes historias térmicas de acuerdo al orden establecido en el planteamiento de la metodología experimental, cabe mencionar que la congelación criogénica se llevó en cuestión de segundos o minutos.

Historia térmica de congelación criogénica de lomo de cerdo mediante el uso de Nitrógeno (N_2).

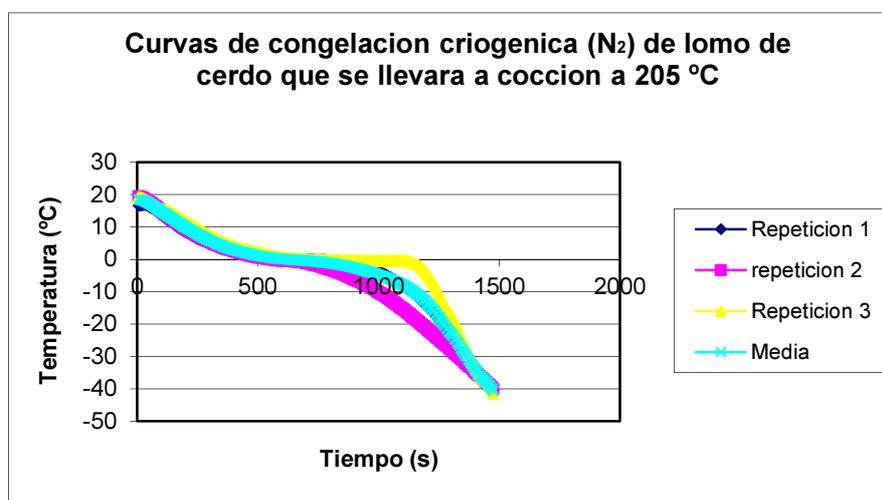


Figura 12. Historia térmica de la congelación criogénica de lomo de cerdo, el cual será sometido a cocción a 205 °C y 235°C.

Después de llevar a cabo la congelación criogénica y mecánica, se realizó la descongelación de acuerdo a las condiciones establecidas anteriormente, para finalizar los tratamientos de sometieron las muestras descongeladas a cocción a 105°C y 205°C.

3.3 Determinación de Parámetros Físicos y Químicos.

Para facilitar el análisis, se presentan los resultados considerando las variables de respuesta donde se compara el efecto de los tratamientos, y no en si la condición de la carne analizada, esto es en carne fresca, descongelada proveniente de ambos métodos y cocida a dos diferentes temperaturas. A continuación se analizan los resultados más importantes.

3.3.1. Actividad de agua (Aw)

Los cambios que sufre la carne dependen de la cantidad de agua disponible, en este caso la carne de cerdo contiene una alta cantidad de agua (75% a 80%), por lo tanto es considerado dentro de los alimentos altamente perecederos. Por tal motivo este grupo alimenticio requiere de métodos adecuados para conservar las características propias de la carne, por lo que la congelación se considera un método alternativo. Al llevarse a cabo la congelación, el efecto de las bajas temperaturas sobre la actividad de agua se hace que esta se reduzca debido a la conversión del agua en hielo, por lo que solo se podrá garantizar la conservación de la carne siempre y cuando no se rompa la cadena de frío.(Muriel, 2002).

Al analizar los cambios producidos por el efecto de la congelación-cocción, se determinó la Aw de acuerdo a lo descrito en el objetivo 2. Los resultados se muestran en el cuadro 10:

Cuadro 10. Aw de carne de cerdo sometida a congelación –cocción.

Nivel	Aw (Media)	Desv. Estándar
Fresca	0.9100	0.0000
Descongelación C. Mecánica	0.9196	0.0000
Descongelación C. Criogénica	0.9111	0.0057
Cocción 205 Mecánica	0.8300	0.0000
Cocción 205 Criogénica	0.8206	0.0057
Cocción 235 Mecánica	0.8196	0.0057
Cocción 235 Criogénica	0.8100	0.0000

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla anterior se resalta que los efectos de la velocidad de congelación si inciden en una mayor liberación de agua y por lo tanto un ligero incremento en la actividad de agua, lo que permite una proliferación de microorganismos, esto presentado después de la descongelación.

Como se puede observar al momento de llevar a cabo la descongelación, la actividad de agua aumento un 2% en las muestras sometidas previamente a la congelación mecánica y se incrementó la Aw un 0.12% en las provenientes previamente de la congelación criogénica, esto se atribuye a que la velocidad de congelación incide en el deterioro del tejido de la carne debido a la formación de cristales o micro cristales dependiendo del tratamiento, por lo que al momento de descongelarse el agua libre que se encuentra en la carne se elimina con mayor facilidad debido a que la capacidad de la retención de agua proveniente de la proteínas disminuye por efecto del frío. Cabe mencionar que a ambas temperaturas el agua de la carne que se congela es la llamada agua libre y es la

responsable de la actividad de agua, siendo a su vez la única disponible para el crecimiento de los microorganismos y para intervenir en otras transformaciones (BADUI, 2006).

Siguiendo con la aplicación de los tratamientos térmicos, al momento de realizar la cocción a las dos temperaturas (205 °C y 235 °C), se presenta una disminución gradual de la Aw provenientes de las muestras congeladas mecánicamente del 9 al 10% y del 10 al 11% las que se sometieron a congelación criogénica.

Ya sea después de la descongelación y después de la cocción las muestras que se congelaron mecánicamente presentan mayor actividad de agua que las que se sometieron a congelación criogénica, por lo cual está en condiciones para que crezcan microorganismos y se lleven a cabo diferentes reacciones enzimáticas o enranciamiento de la carne la cual afecte el aspecto y las propiedades que presenta la misma

Análisis estadístico de los resultados experimentales de acuerdo a la prueba de Tuckey:

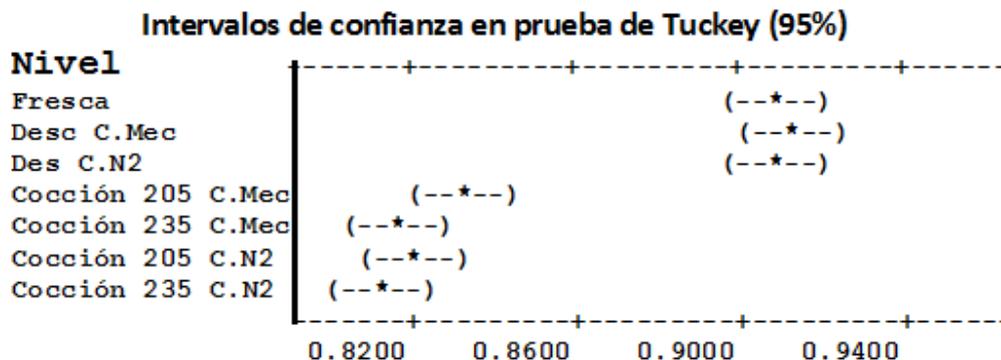


Figura 13. Intervalos de confianza para prueba de Tuckey en la comparación de la Aw.

Como se puede observar de acuerdo la figura 13 con respecto a la carne fresca y las muestras descongeladas no hay diferencia estadísticamente significativa, ya que los valores de la media de cada tratamiento entran en los intervalos de análisis de cada muestra y como se puede apreciar los valores a Aw de 0.9196 y 0.9111 no difieren significativamente del valor inicial de la carne fresca que es de Aw 0.9100. En lo que concierne a los valores de Aw durante el tratamiento de cocción a ambas temperaturas y provenientes previamente de diferentes métodos de congelación se deduce que no hay diferencia estadísticamente significativa, ya que como se mencionó anteriormente la media de cada tratamiento entran en los intervalos de análisis. Sin embargo hay una diferencia significativa de las muestras sometidas a cocción con respecto a las muestras antes del tratamiento de congelación y posteriormente a la descongelación, dicha diferencia significativa se atribuye al descenso de la Aw al momento de aplicar el tratamiento térmico. Al decir que estadísticamente no haya una diferencia significativa de acuerdo a lo explicado anteriormente, no significa que no haya un efecto de la actividad de agua sobre la carne, ya que como es bien sabido a mayor Aw hay un incremento de afecciones debido al crecimiento de microorganismos, al igual que se lleven reacciones enzimáticas que causen una injerencia en la carne (Pham et al., 1997).

3.3.2. Cambio en la dimensión (Longitud, Ancho y Espesor).

Los cambios en la dimensión son de los aspectos físicos que se pueden observar fácilmente cuando la carne es sometida a congelación, descongelación y posteriormente a cocción. El cambio se debe a que durante la congelación de carne, dependiendo de la velocidad de congelación se lleva a cabo la formación de micro y macro cristales que dañan la estructura del tejido de la carne, dichos cristales incrementan el tamaño de la carne debido al aumento del volumen de las moléculas de agua. Una vez que se descongela la carne, los cristales desaparecen reflejando una pérdida de firmeza debido a la exudación de líquidos en la carne (Rubio, 2001), estos cambios se ven más en las muestras sometidas a congelación mecánica debido a que la velocidad de congelación lenta va formando macro cristales de hielo los cuales aumenta el tamaño de la muestra y que al momento de descongelarse repercuten en la dimensión.

El cambio de dimensión presentó comportamiento similar a lo largo de la experimentación, es decir que los parámetros de longitud, ancho y espesor fueron disminuyendo conforme se va aumentando la temperatura, el mayor cambio de dimensión refiriéndonos a la disminución de la misma se efectúa al realizar la cocción.

Cuadro 11. Resultados del cambio en de longitud en carne de cerdo sometida a congelación –cocción.

Nivel	Media	Desv.Est.
Longitud carne fresca	7.003	0.0058321
Longitud Des mec	6.95	0.1225
Longitud Des N2	6.8333	0.0816
Long. cocción 205 mec	6.40	0.2001
Long. cocción 235 mec	6.2033	0.3
Long. cocción 205 N2	6.7	0.2646
Long. cocción 235 N2	6.29	0.2646

De acuerdo a los resultados obtenidos y presentados en el cuadro 11 se puede observar que las muestras sometidas a una velocidad de congelación lenta presentaron una mayor disminución en la longitud, esto reflejándose desde que la carne es fresca y se lleva a cocción. En las muestra que se sometieron a congelación mecánica, después de aplicárseles los tratamientos térmicos se presentó que al momento de descongelar hubo una pérdida en la longitud del 0.75%, una pérdida de 8.6% al momento de realizar la cocción a 205 °C y una disminución del 11.4% al realizar la cocción a 235 °C. Por otra parte las muestras que se sometieron a congelación criogénica al momento de descongelarse presentó una disminución en la longitud del 2.4%, al realizarse la cocción a 205 °C hubo una disminución del 4.3% y posteriormente al realizar la cocción a 235°C la longitud disminuyó el 10.1%

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

Cuadro 12. Resultados del cambio del espesor en carne de cerdo sometida a Congelación –cocción.

Nivel	Media	Desv.Est.
Espesor carne fresca	2.0023	0.0049329
Espesor Des mec	1.8667	0.1506
Espesor Des N2	1.8333	0.0816
Esp cocción 205 mec	1.8	0.1
Esp cocción 235 mec	1.5667	0.0577
Esp cocción 205 N2	1.5667	0.0577
Esp cocción 235 N2	1.6667	0.0577

El efecto del decremento de la dimensión como se ha mencionado anteriormente es más notorio al aplicarse un tratamiento térmico y al igual que la longitud, el espesor disminuye su tamaño en las muestras sometidas a congelación mecánica, ver cuadro 12. Hubo una disminución del 6.7% a momento de descongelar la muestras y al momento de someter la muestras a cocción a 205°C y 235°C hubo un decremento en el espesor del 10.2% y del 21.7% respectivamente. Con respecto a las muestras sometidas previamente a congelación criogénica la disminución del espesor fue del 9% al momento de descongelar y del 21.7% así como de 16.7% al momento de realizar cocción a 205°C y 235°C.

Cuadro 13. Resultados del cambio en el Ancho en carne de cerdo sometida a congelación –cocción.

Nivel	Media	Desv.Est.
Ancho carne fresca	3	0.04
Ancho Des mec	3.1	0.3521
Ancho Des N2	2.8167	0.0408
Ancho cocción 205 mec	2.4667	0.1155
Ancho cocción 235 mec	2.6	0
Ancho cocción 205 N2	2.5667	0.0577
Ancho cocción 235 N2	2.6	0.1

Los resultados presentados en el cuadro 13 de igual manera muestran que las muestras sometidas a un tratamiento de congelación y posteriormente a un tratamiento térmico repercuten en la disminución de la dimensión, en este caso el ancho de las muestras cárnicas presento un comportamiento muy similar en las muestras sometidas a congelación mecánica y las sometidas a congelación criogénica. Hubo una disminución del 3% al momento de descongelar las muestras, y del 17.7% y 13.3% al momento de aplicar una cocción a 205°C y 235°C, esto refiriéndonos a las muestras que se sometieron a una velocidad de congelación lenta. El tratamiento criogénico presento resultados similares, hubo un decremento del 6.11% después de descongelar las muestras y al

momento de realizar la cocción a 205°C y 235°C la disminución fue de 14.4% y 13.3% respectivamente.

Al realizar el análisis estadístico de Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95% se observa la variación que hay entre resultados, determinando si estadísticamente hay variación entre la congelación mecánica y criogénica. Los resultados estadísticos se presentan a continuación a través de un gráfico de caja y bigote:

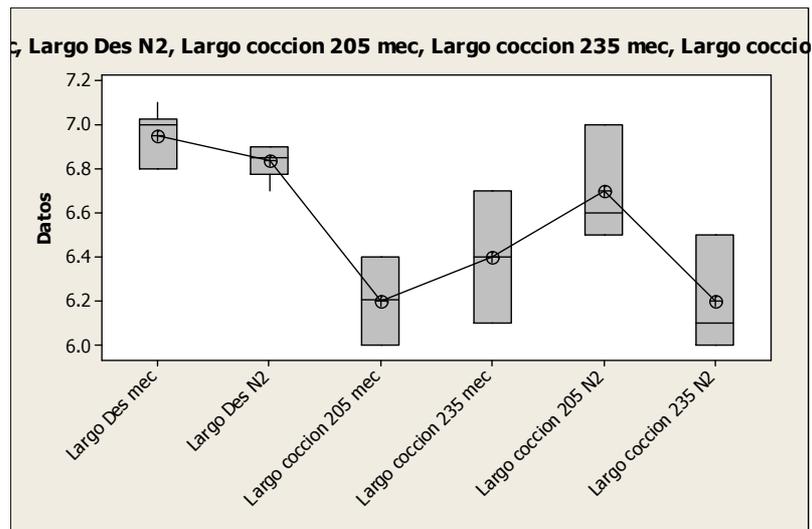


Figura 14. Diseño de caja y bigote para los resultados obtenidos en el cambio de la longitud.

De acuerdo a lo analizado con respecto a la longitud (largo) se observa que en las muestras sometidas a descongelación no hay una diferencia estadísticamente significativa, la dispersión de los resultados es mayor en las muestras provenientes de la congelación convencional, esto se observa por la dimensión de la caja. Hay una ligera sobre posición de su intervalo de confianza con respecto a las muestras provenientes de congelación criogénica. A lo que concierne a la cocción hay menos variación en los datos obtenidos a los provenientes de la congelación tradicional hay una mayor sobre posición de los intervalos de confianza con respecto a su media (cocción a 205°C y 235°C).

Los datos provenientes de congelación criogénica presento una mayor dispersión de los resultados en la cocción, y no hay sobre posición entre sus intervalos marcados por la caja. Pero a pesar de esto se puede observar que la mayor pérdida en la longitud se llevó a cabo en las muestras provenientes de congelación mecánica.

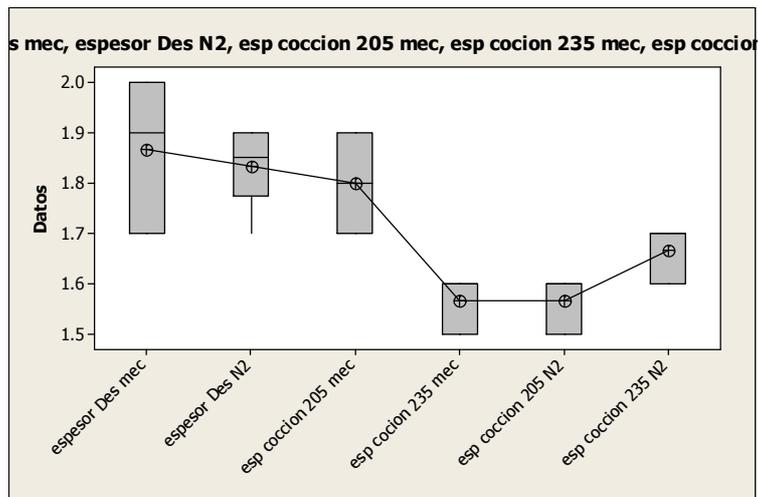


Figura 15. Diseño de caja y bigote para los resultados obtenidos en el cambio del espesor.

Con respecto al cambio en el espesor al aplicar el análisis estadístico se puede observar que durante la descongelación no hay diferencia significativa comparando los diferentes métodos de congelación aplicados previamente, pero lo que cabe resaltar es que hay una mayor dispersión en el intervalo de confianza de las provenientes de la congelación mecánica. Refiriéndonos a la cocción hay una mayor dispersión en los valores presentados para los provenientes de congelación mecánica y no hay sobre posición de sus intervalos.

Las muestras congeladas criogénicamente y posteriormente descongelada la dispersión de los datos son muy similares como se puede observar en su caja, pero no hay una sobre posición de sus intervalos y mucho menos de su media, pero observando que a las muestras sometidas a cocción a 235°C las muestras provenientes de congelación mecánica presento un mayor decremento del espesor.

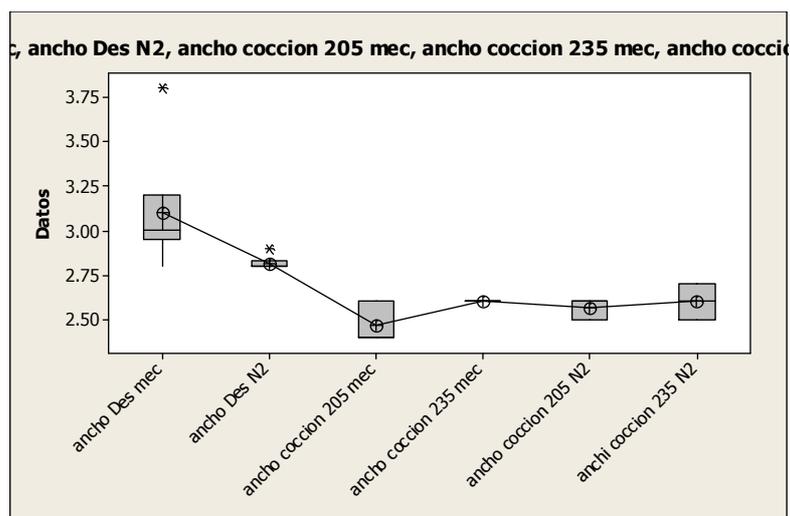


Figura 16. Diseño de caja y bigote con respecto al cambio en el ancho de las muestras cárnicas.

Como se puede observar en lo que se refiere al análisis del ancho de las muestras se puede observar a lo que concierne a la descongelación las muestras provenientes de congelación criogénica presento una mayor decremento del ancho con respecto a la congelación mecánica, pero hay una menor dispersión de sus valores. No hay sobre posición de los resultados durante la descongelación y de acuerdo al grafico hay una mayor afección en el ancho de las muestras provenientes de congelación criogénica. Con respecto a la cocción tanto de las muestras provenientes de la congelación mecánica y criogénica presentan el mismo cambio en la disminución del ancho, hay sobre posición de los intervalos y entre las medias de cada tratamiento, siendo así de los tres aspectos evaluados (largo, espesor y ancho) el que menor afección tiene por los tratamientos de congelación.

3.3.3. Pérdida de peso

La pérdida de peso en la carne se presenta cada vez que esta es sometida a variaciones de temperatura, estas variaciones efectúan cambios en los nutrimentos de la carne en especial a las proteínas. Cuando las proteínas entran en contacto con altas o bajas temperaturas sin mantener un método de conservación constante, se pierden sus estructuras llevando con esto a su deterioro.

Al deteriorarse las proteínas ocurre un fenómeno importante llamado exudación, esta conlleva a la eliminación del agua extracelular perdiéndose evidentemente humedad y con ello nutrimentos u compuestos característicos de la carne (color, vitaminas minerales, etc.), la perdida de todos estos compuestos refleja la pérdida de peso en la carne (Girard, 1981).

La pérdida de agua es un factor importante como parámetro de control de calidad ya sea para la comercialización de la carne, así como para el proceso de industrialización de la misma. Esta pérdida de humedad de acuerdo a lo experimentado depende de diversos factores ya sean propios de la carne, por ejemplo desde sus orígenes, después de su sacrificio y periodo de maduración, pero también depende del tipo de conservación que se le dé, en este caso la congelación.

Durante la congelación mecánica la formación de cristales de hielo se lleva de una manera lenta dando como resultado cristales de mayor tamaño, estos cristales se forman primeramente al exterior de las paredes celulares dentro del tejido de la carne, una vez descongelada las muestras los cristales dejan daños irreversibles en dicho tejido dañando las proteínas, directamente en la capacidad de retención de agua, obteniéndose así una mayor exudación de líquidos (Carvajal, 2001). En la congelación criogénica pasa lo contrario la velocidad de congelación es rápida y el tamaño de cristales es de menor tamaño causando menor desnaturalización proteica evitando así la eliminación de líquidos de manera notoria.

Como ya se mencionó antes la carne de cerdo se sometió a un tratamiento de Congelación -Cocción y los resultados obtenidos con respecto a la pérdida de peso muestran lo siguiente:

Cuadro 14. Representación de la pérdida de peso durante el tratamiento de Congelación - Cocción en carne de cerdo.

Nivel	N	Media	Desv.Est.
*PP Descongelación mec	6	7.107	1.156
PP Descongelación N2	6	4.377	1.012
PP Cocción 205 mec	3	24.978	2.698
*PP Cocción 235 mec	3	33.239	9.126
*PP Cocción 205 N2	3	20.992	4.247
*PP Cocción 235 N2	3	25.162	5.198

*PP= pérdida de peso

El peso promedio de la carne fresca sin haber sido sometida a algún tratamiento térmico fue de 38.27 g, con una desviación estándar entre el total de las muestras del 3.75%, esto nos indica que la variación entre las muestras analizadas para la determinación del peso de la carne fresca fue muy pequeña lo cual nos permite estandarizar nuestros análisis y así comparar cual método de congelación mostro una mayor pérdida, viéndose esto reflejado una vez que se descongelo y se llevó a cabo la cocción de la carne.

En general las muestras que se vieron más afectadas después de los tratamientos térmicos fueron aquellas sometidas a congelación mecánica presentando una pérdida de peso del 7.1% al descongelarse y del 23.2% y 30.87% después de haberse sometido a cocción a 205 y 235°C respectivamente. En cuanto a la congelación criogénica la pérdida de peso fue de 4.37% al descongelar y del 20% y 24.06% después de someterse a cocción a dichas temperaturas.

Con la explicación porcentual se observa que el daño causado por el frio en las muestras sometidas a congelación convencional superan de manera amplia al tratamiento por congelación criogénica, esto reflejado en la descongelación y en la cocción, cabe mencionar que está perdida de peso se manifiesta por la eliminación de agua por exudación y perdida de humedad por evaporación por el efecto de los tratamientos térmicos.

A los resultados mostrados anteriormente se les aplico un tratamiento estadístico de Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95% esto nos permitió identificar cuanta variación hay entre nuestros resultados, determinando si estadísticamente hay variación entre la congelación mecánica y criogénica. Los resultados estadísticos se presentan a continuación a través de un gráfico de caja y bigote:

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

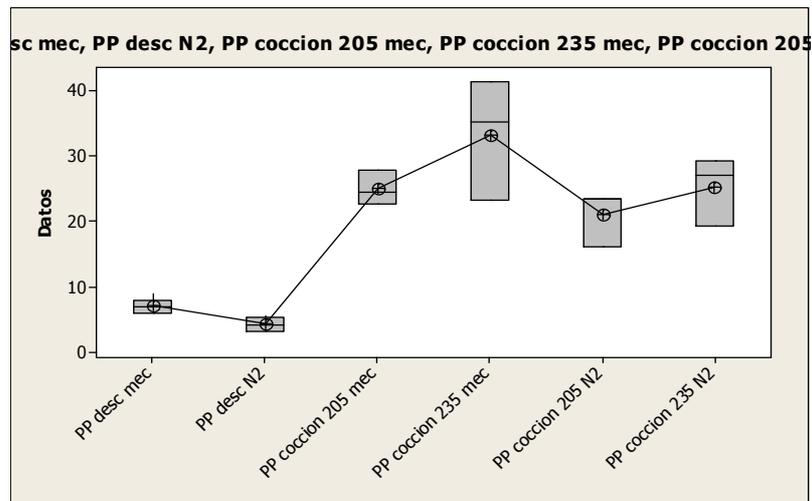


Figura 17. Gráfico de caja y bigote para los resultados correspondientes a la pérdida de peso.

La figura anterior nos muestra la relación entre los valores entre cada tratamiento y su variación con respecto a la media. A lo que concierne a los valores de descongelación criogénica y mecánica, estadísticamente se puede decir que son diferentes y que hay mayor variación entre sus resultados con respecto a la media, esto quiere decir que no hay una sobre posición entre sus intervalos de confianza (al 95%), para verse más claro se muestra el tratamiento aplicado exclusivamente al proceso de descongelación:

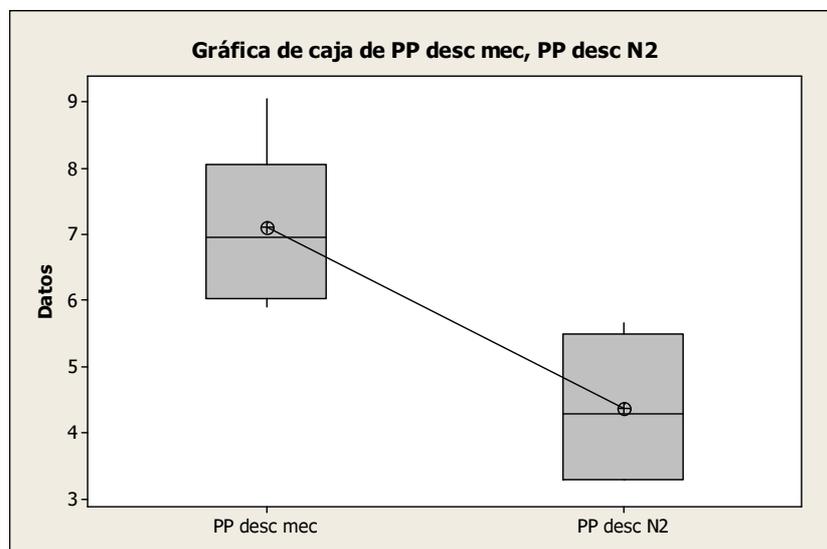


Figura 18. Gráfico de caja y bigote para los resultados correspondientes a la pérdida de peso en la descongelación.

Los valores de la media se disparan entre cada tratamiento viéndose claramente que la mayor pérdida de peso se lleva al descongelar las muestras que fueron sometidas a congelación mecánica.

Durante la cocción de acuerdo al tratamiento estadístico aplicado se puede observar que estadísticamente hay una diferencia significativa entre los resultados, en la figura 21 se puede observar que los resultados provenientes de las muestras cárnicas sometidas a congelación tradicional, estadísticamente no hay diferencia significativa y con respecto a las muestras provenientes de la congelación criogénica presenta el mismo comportamiento.

Pero al comparar los diferentes tipos de congelación encontramos que si hay diferencias estadísticamente significativa ya que no hay una sobre posición de los intervalos de confianza de dichos tratamientos, a pesar de la dispersión de los datos no hay relación entre los valores medios de cada tratamiento, viéndose claramente que las muestras sometidas a congelación mecánica presentan un mayor porcentaje en la pérdida de peso.

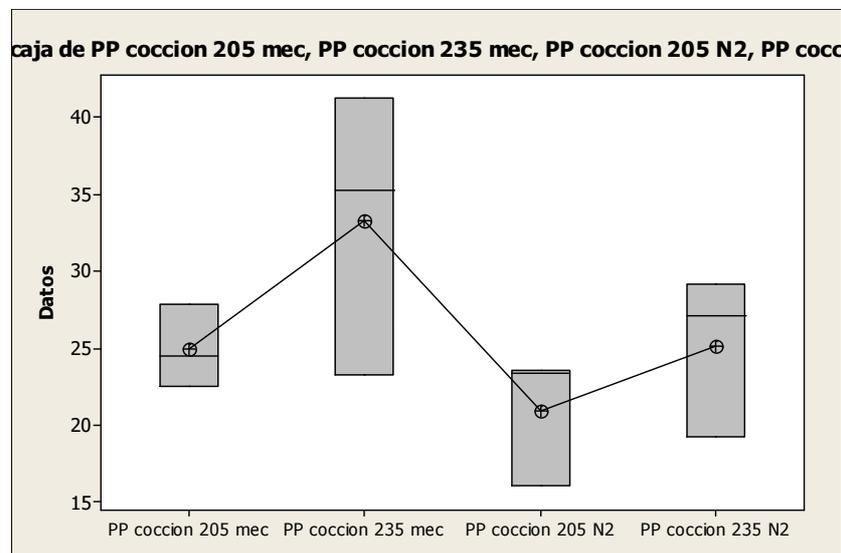


Figura 19. Gráfico de caja y bigote para los resultados correspondientes a la pérdida de peso en la cocción.

Para finalizar a lo correspondiente a pérdida de peso se puede decir que estadísticamente durante todo el tratamiento térmico la mayor pérdida de peso se manifiesta durante la descongelación y más si la carne es proveniente de un tratamiento de congelación mecánico, el cual repercute claramente en la cocción posteriormente realizada.

3.3.4 Cambios del color durante la congelación cocción en carne de cerdo

El color depende de la cantidad de pigmento mioglobina y hemoglobina del musculo, también del estado oxido reducción e influenciado por la capacidad de retención de agua, ya que si hay un descenso en la capacidad de retención de agua hay una exudación de líquidos las cuales repercuten también en el drene del color de la carne (Price, 1994).

La carne fresca debe ser visualmente atrayente para el consumidor y el color de la carne es la primera impresión.

El color de la carne puede ser clasificado visualmente por una persona entrenada usando una escala de color u objetivamente como en este caso mediante la utilización del

CONGELACIÓN COCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE

colorímetro Minolta. Como ya se explicó anteriormente los parámetros medidos en el colorímetro son, L* parámetro que determina la luminosidad, a* determina el color rojo y b* determina el color amarillo, para contrastar estos resultados se comparó con los parámetros de color determinados a muestras de lomo de cerdo en Madrid.

Los valores fueron L* 42- 46 (o menor a 50), a* 6 a 7.5 y b* de 3 a 6, valores proporcionados para carne fresca (Martín, 2010).

Los resultados obtenidos después del análisis colorimétrico Minolta se muestran a continuación:

Cuadro 15. Resultados de la Luminosidad a lo largo de la experimentación.

Parámetro L*	Media	Desv. Est.
L* carne fresca	52.667	2.383
L* Des mec	50.737	1.318
L* Des N2	52.053	0.976
L* cocción 205 mec	67.137	1.109
L* cocción 235 mec	70.01	1.624
L* cocción 205 N2	65.543	0.763
L* cocción 235 N2	68.173	3.157

Cuadro 16. Resultados de la tendencia al color rojo a lo largo de la experimentación.

Parámetro a*	Media	Desv. Est.
a* carne fresca	7.357	2.138
a* desc mec	6.403	0.885
a* desc N2	7.900	0.775
a* cocción 205 mec	4.646	0.5516
a* cocción 235 mec	3.90	0.2371
a* cocción 205 N2	4.989	0.6495
a* cocción 235 N2	4.216	0.265

Cuadro 17. Resultados de la tendencia al color amarillo durante los tratamientos.

Parámetro b*	Media	Desv.Est.
b* Carne fresca	3.580	1.619
b* Desc mec	3.087	1.020
b* Desc N ₂	4.310	0.992
b* cocción 205 mec	14.067	2.103
b* cocción 235 mec	16.19	1.205
b* cocción 205 N2	13.643	0.535
b* cocción 235 N2	15.55	1.882

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos observar que los valores de luminosidad de la carne fresca presenta un valor mayor a lo indicado a la bibliografía el cual indica que debe ser menor o igual 50, el valor de luminosidad determinado fue de 52.6, dicho valor no indica que el resultado es erróneo sino que depende de otros factores como la raza, la alimentación, la edad y la matanza del cerdo así como factores fisicoquímicos que se lleva durante la transformación de la carne, las cuales durante toda la experimentación se controló pero que son diferentes a las características de las muestras de la bibliografía. Conforme se aplica los diferentes tratamientos térmicos la descongelación y la cocción se observa que los valores más altos de luminosidad se presentan en las carne provenientes de la congelación mecánica esto se atribuye a que debido a la exudación de líquidos y perdidas por evaporación, así como por la desnaturalización de las proteínas (mioglobina y hemoglobina), por efecto más notorio en la aplicación de las altas temperaturas hay mayor tendencia a la palidez de la carne lo cual indica que se pierde el color oscuro habiendo mayor reflexión de la luz.

Con respecto al parámetro a^* el cual nos indica la tendencia al color rojo de la carne podemos observar que los valores obtenidos para carne fresca fue de 7.35 el cual de acuerdo a la bibliografía que es de 6 a 7.5 (Poto, 2007), mantenemos un criterio de aceptación para contrastarlo. Una vez aplicados los tratamientos térmicos la disminución de la coloración roja se presentó de igual manera en las muestras provenientes de la congelación mecánica el cual mostro un decremento del color rojo del 37% en las muestras cocidas a 205°C y del 48% sometidas a cocción a 235°C. En las muestras sometidas a congelación criogénica se presentó de igual manera un decremento en el color rojo pero en menor proporción, una disminución del 32% y del 43% al someterse a cocción a 205°C y 235°C respectivamente.

El parámetro b^* el que indica la tendencia a la coloración amarilla presento el mismo comportamiento que lo ocurrido en la luminosidad y la tendencia al rojo, el efecto de los diferentes tratamientos térmicos se manifestó en mayor proporción en las muestras sometidas a congelación mecánica, esto se puede observar claramente en el cuadro 17. En la que hay una diferencia del 3 % y del 4% al llevar la cocción a 205°C y 235°C, esto haciendo referencia a las muestras provenientes de la congelación mecánica y criogénica respectivamente. El incremento del color amarillo de las muestras aunada con el aumento de la luminosidad influyen sobre el aspecto de la palidez de las muestras llevadas a cocción (Peinado, et.al. 2005).

De acuerdo al análisis estadístico aplicado de intervalos de confianza de prueba de Tuckey (95%) para cada parámetro se puede observar en las siguientes figuras:

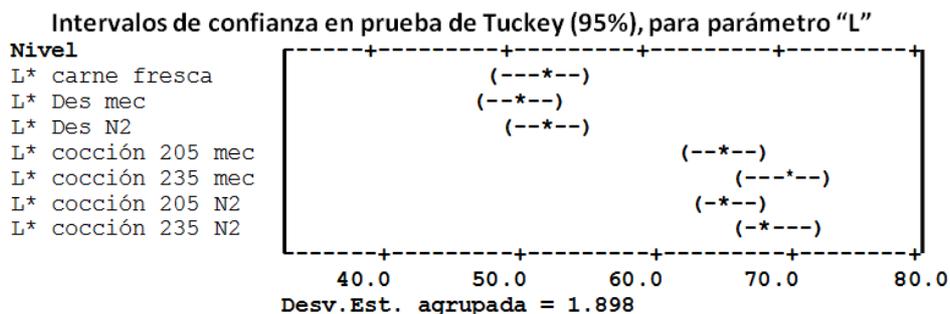


Figura 20. Análisis estadístico para resultados de luminosidad durante los diferentes tratamientos

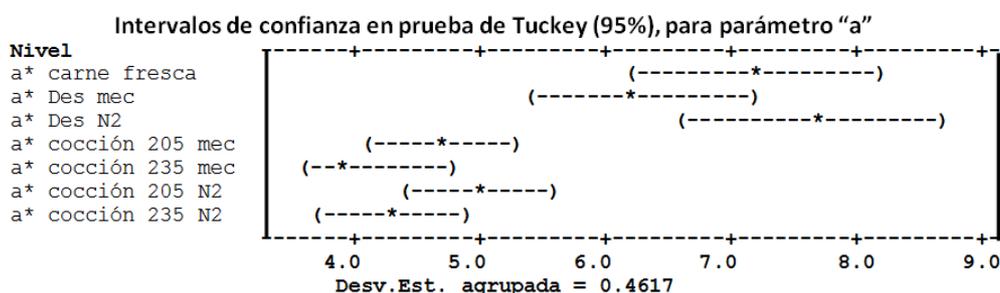


Figura 21. Analisis estadístico par resultados de tendencia al color rojo durante los diferentes tratamientos

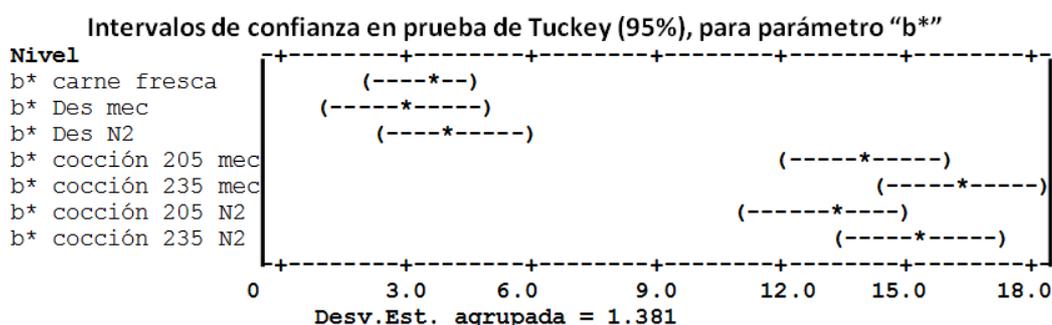


Figura 22. Análisis estadístico para resultados de tendencia al color amarillo durante los diferentes tratamientos.

Con respecto al análisis estadístico enfocándonos a la figura 20, se puede observar que los cambios de luminosidad al momento de descongelar la carne, incluso provenientes de los 2 métodos de congelación estadísticamente no hay diferencia significativa, ya que sus intervalos de confianza se sobre ponen con respecto a la carne fresca, durante la cocción se puede observar que estadísticamente o hay diferencia significativa comparando la cocción a 205°C de las muestras provenientes de los dos métodos de congelación y a 235°C se presentó el mismo caso, pero cabe resaltar que analizando la cocción a las dos temperaturas diferentes de las muestras provenientes de un mismo tipo de congelación ya sea criogénica o mecánica el incremento de la luminosidad pertenece a las muestras sometidas a cocción a 235°C.

En la figura 21 se observa que no hay diferencia estadísticamente significativa en las muestras de carne fresca y descongeladas a lo que concierne al parámetro a* (tendencia a coloración roja), hablando ahora de la cocción estadísticamente no hay diferencia significativa para los valores de a* refiriéndonos a la cocción a 205°C independientemente de que método de congelación provenga, a 235°C es el mismo comportamiento, no hay diferencia entre las muestras provenientes de la congelación convencional y la criogénica, pero a pesar de estos resultados estadísticos es importante tomar en cuenta este descenso de la coloración roja aunado con la luminosidad para determinar la palidez de la carne.

De igual manera se puede observar en la figura 22 que los valores de b* presentaron el mismo comportamiento estadístico explicado anteriormente en los valores de L* y a*. Se deduce con todos estos resultados que durante descongelación y la cocción en

cualquiera de los tres parámetros de color, hay una variación con tendencia a la palidez de carne, al descongelarse por la pérdida de líquidos por exudación y por la desnaturalización parcial de las proteínas y en la cocción por el efecto de las altas temperaturas se lleva a cabo una desnaturalización total, una coagulación de todas las proteínas eliminando totalmente la coloración característica de la carne, haciendo que se torne de color pálido.

3.3.5 Evaluación del pH durante los tratamientos de congelación cocción

La variación del pH del músculo es consecuencia del cambio metabólico que acontece tras la muerte del animal y tiene consecuencias sobre el proceso de transformación del músculo en carne. La variación del pH está regulada por diversos factores, entre los que destacan los genéticos, de alimentación, edad al sacrificio, sexo, condiciones de transporte y descanso previo al sacrificio. La influencia del pH sobre las características de color, terneza, sabor, capacidad de retención de agua y conservabilidad es la razón por la que el pH, no sólo afecta a las propiedades organolépticas de la carne, sino también a su calidad higiénica y a su aptitud tecnológica para la elaboración de productos cárnicos. En el cerdo los valores de pH al momento de haberse convertido el musculo en carne es de 5.6 a 5.8 esto para muestras de lomo de cerdo. Cabe señalar que el pH de carne aumente conforme se le aplican tratamientos térmico durante su transformación (Poto, 2003).

El pH es sin duda el parámetro con mayor relevancia para la carne y la industria cárnica, debido a que a pequeñas variaciones, la cual se maneja de forma exponencial, contribuye a lo que se refiere a la desnaturalización de proteínas afectando a la capacidad de retención de agua, es decir, se ve reflejado en la pérdida de peso, esta capacidad de retención de agua al verse afectada por el pH hace que se presente una Actividad de agua mayor a 0.9 el cual junto al pH que se va acercando a la neutralidad conforme avanza el tiempo, se encuentra en una zona de inestabilidad la cual hace susceptible a la carne para diferentes cambios fisicoquímicos además de un fuerte impacto microbiano. De igual manera interviene en la pigmentación de la carne ya que de acuerdo a que si el nivel de pH ha bajado en las canales de cerdo, se puede presentar un color más pálido u oscuro, debido a la oxidación de la hemoglobina y mioglobina presente en la carne (Genot, 2000).

En la siguiente tabla se puede observar los resultados obtenidos en la medición de pH de las muestras sometidas a congelación criogénica y mecánica así como a cocción controlada a dos diferentes temperaturas:

Cuadro 18. Cambio del pH en carne de cerdo después de los tratamientos térmicos.

Nivel	pH promedio	Desv estandar
Carne fresca	5.73	0.0058
Desc mec	5.84	0.0493
Desc criog	5.70	0.0208
Cocción 205°C meca	6.54	0.0757
Cocción 235°C mec	6.61	0.0306
Cocción 205°C crio	6.24	0.0100
Cocción 235°C crio	6.29	0.0643

De acuerdo a los resultados mostrados en la cuadro 18 se puede observar que la variación de pH más notoria se llevó a cabo en las muestras provenientes de la congelación mecánica, se incrementó un 2 % en las muestras descongelada y posteriormente aumentó el 14% a llevarse la cocción a 205 °C y 15.3% al llevarse la cocción al 235 °C. Las muestras sometidas previamente a congelación criogénica presentaron un menor incremento en los valores de pH, con un decremento del 0.52% al momento de descongelarse las muestras, pero al llevarse la cocción se presentó un incremento del 9% y 10% al someterse a 205°C y 235°C respectivamente. No olvidar que esta comparación en porcentaje se realizó a partir de los valores presentados para la carne fresca.

El cambio de pH durante la descongelación se debe a las desnaturalización proteica y a la exudación de líquidos debido a las ligeras modificaciones de la actividad de agua, al llevarse la cocción en el cual se nota un aumento notorio en el cambio de pH que se fundamenta por lo comentado por Badui (2006), el cual menciona un aumento de pH debido a que conforme se aplica calor a las proteínas de la carne se empiezan a desnaturalizar, fenómeno que incita a que el pH llegue a la neutralidad por sobrepasar el pH isoeléctrico de las proteínas.

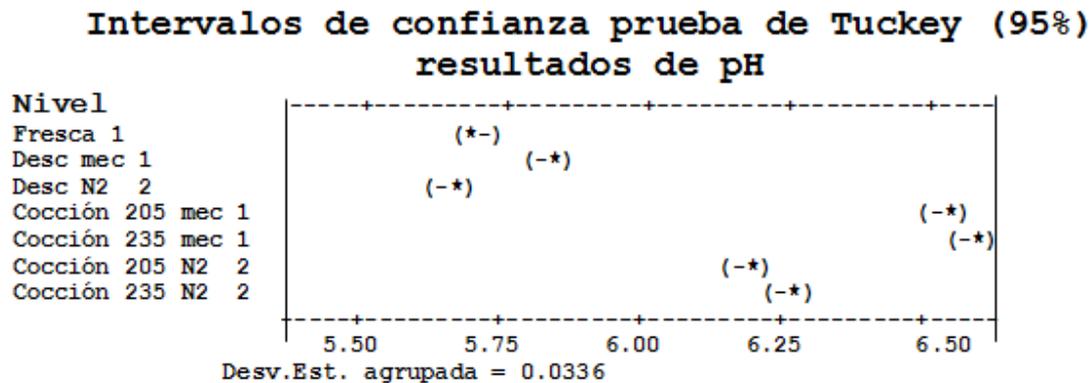


Figura 23. Análisis estadístico de los resultados de pH después de los tratamientos térmicos.

De acuerdo a lo presentado en la figura 23 se puede observar que a pesar de que numéricamente haya una ligera variación entre los resultados (mínima) se puede decir que las muestras sometidas a los diferentes tratamientos térmicos presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí y con los valores de la carne fresca, ya que no hay una sobre posición de los intervalos de confianza con respecto a la media que cada tratamiento. En este parámetro las pequeñas variaciones que se presenten, son de suma importancia ya que del pH dependen el incremento o decremento de los parámetros causantes de la calidad fisicoquímica de la carne (A_w , capacidad de retención de agua, color), así como de la calidad higiénica de la carne (calidad microbiana).

3.3.6 Cuantificación de proteínas de los extractos las diferentes muestras cárnicas, uso del método de Bradford.

Para la determinación de proteína se utilizó el método de Bradford en el cual se emplea un colorante hidrofóbico cuyas disoluciones acuosas en presencia de ácido fosfórico tienen un color pardo y que, al encontrarse en el entorno hidrofóbico del interior de una proteína, origina un color azul intenso que se puede medir fácilmente. Este método

depende, pues de la interacción relativamente inespecífica entre un colorante hidrofóbico y las proteínas, por lo que es relativamente sensible a la presencia de contaminantes tales como restos de detergente y líquidos orgánicos como el metanol. Su principal ventaja es que resulta más rápido y fácil de emplear que otros métodos alternativos, y más sensible que la medida de absorbancia a 280 nm (Panilla, et al. 2003).

Para determinar la concentración de proteína total presente en las muestras analizadas se requirió la preparación de una curva de calibración empleando una proteína patrón, que en este caso fue la seroalbúmina bovina. Con la curva patrón y la ecuación de la recta se cuantifico la cantidad de proteína de las muestras cárnicas, los resultados de la curva se pueden observar en la Figura 24.

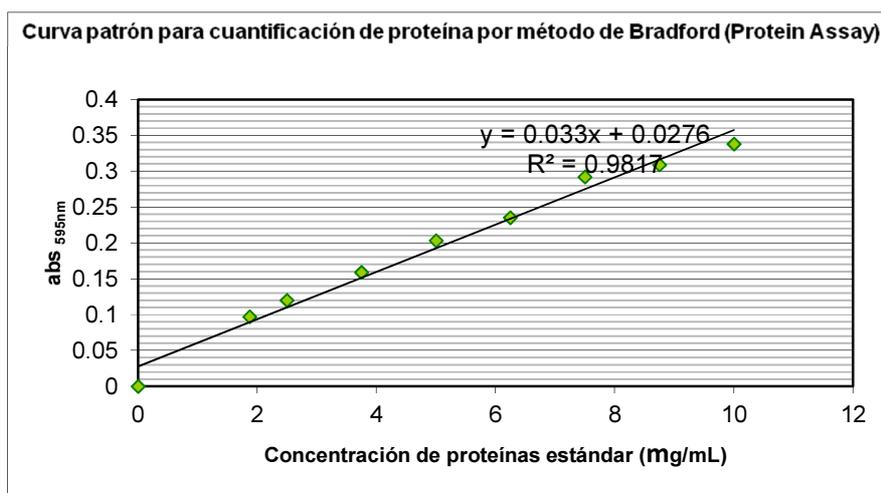


Figura 24. Curva patrón de proteína de BSA en relación de la absorbancia a 595nm con respecto a la concentración de proteína (mg/mL)

El tipo de congelación, la descongelación y el proceso de cocción, son factor determinante a lo que concierne a la calidad y características de las proteínas presentes en la carne. Los diferentes tratamientos térmicos ya sea a baja o altas temperaturas provocan modificaciones en la estructura y calidad de proteica que dependiendo del uso que se les dé sea benéfica o perjudicial.

Cuadro 19. Comportamiento proteico después de los diferentes tratamientos térmicos.

Muestras cárnica	Media (mg/mL)	Des. estándar	C.V.
Fresca	0.5497	0.0116	2.1217
C.C. Descongelada	0.5059	0.0101	1.9964
C.C. Cocida 205	0.0716	0.0004	0.6369
C.C. Cocida 235	0.0842	0.0039	2.6710
C.M. Descongelada	0.4476	0.0238	1.3219
C.M. Cocida 205	0.0615	0.0001	0.1892
C.M. Cocida 235	0.0111	0.0001	1.5741

De acuerdo al cuadro 19 se puede observar los resultados de la cuantificación de proteína en los extractos de las muestras cárnicas ya sometidas a los diferentes tratamientos, los resultados muestran que la mayor pérdida de cuantificación proteica se presentan en las muestras que fueron previamente sometidas a congelación mecánica, al descongelarse se perdió el 18% de la cantidad de la proteína cuantificada en la carne fresca (antes del tratamiento); posteriormente las muestras que se llevaron a cocción a 205°C disminuyo un 89% y a 235°C disminuyo al 98 %, cuantificado por el método de Bradford. El daño estructural de las proteínas se debió a que al aplicar una velocidad lenta de congelación la formación de cristales de gran tamaño dañara el tejido celular, lo cual hizo que las proteínas fueran más vulnerables a la aplicación de calor durante la descongelación y la cocción.

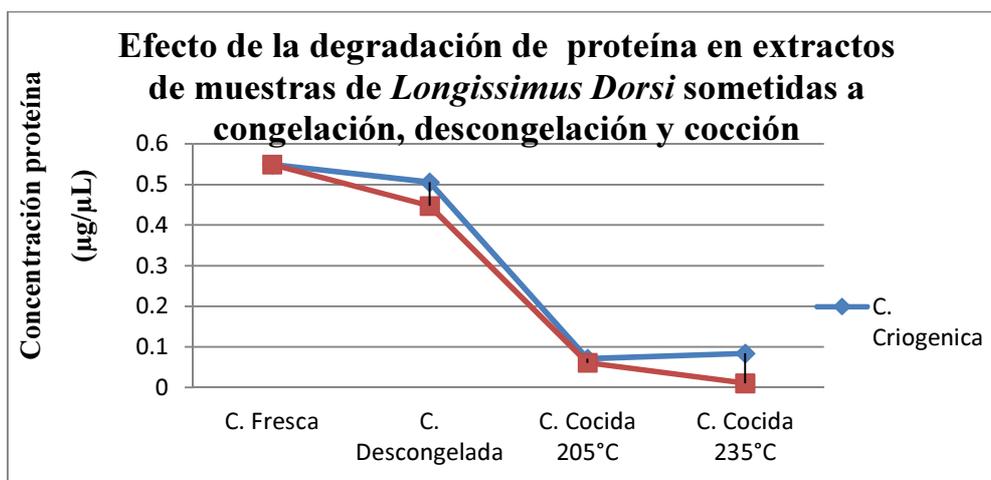


Figura 25. Interpretación gráfica del comportamiento proteico durante los diferentes tratamientos térmicos.

Con respecto a las muestras sometidas a congelación criogénica al momento de descongelar se reflejó una pérdida del 8% y posteriormente un decremento del 81% y 85% al llevar la cocción a 205°C y 235°C respectivamente. Las muestras sometidas a congelación criogénica también tuvieron una disminución proteica con respecto a la concentración inicial (carne fresca), pero en menor proporción que la congelación mecánica debido a que a su alta velocidad de congelación se forman microcristales los cuales no dañan significativamente el tejido estructural de la carne, haciendo más resistente el comportamiento de las proteínas a las aplicaciones de calor durante la descongelación y la cocción.

Como se puede observar en la figura 25 y de acuerdo a los porcentajes antes mencionados, la velocidad de congelación si incide en las estructuras de las proteínas, y se refleja en la cuantificación ya mencionada. Esta repercusión causada por la desnaturalización de proteínas provoca en la industria cárnica perdidas tanto a nivel económico como a nivel productivo este refiriéndonos a la transformación de productos cárnicos por lo cual se abordó este proyecto, esto sin dejar a un lado el aporte nutrimental de las proteínas cárnicas (Carvajal,2001). Por ejemplo los tratamientos térmicos tienen efectos sobre las proteínas cárnicas, la temperatura aumenta la energía cinética de la molécula y su motilidad provocando una desnaturalización, esto se traduce en un ataque enzimático más fácil por la disminución de los impedimentos estéricos que ofrece la proteína y por lo tanto una mayor digestibilidad y aprovechamiento por el cuerpo humano (Carballo, 2001).

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

1. La velocidad de congelación influye de manera notable en la calidad de la carne dando como resultado una pérdida o disminución de los parámetros valuados durante la experimentación, en este caso una mayor pérdida de peso, un aumento en el pH, disminución en las propiedades de color, disminución en los extractos proteicos, un decremento en los cambios de dimensión y un ligero aumento en la actividad de agua, en las muestras sometidas a congelación mecánica, esto debido a su lenta velocidad de congelación.
2. La congelación criogénica debido a su alta velocidad de congelación asemejo después de dicho tratamiento las condiciones valuadas previamente a la carne sin tratamientos previos, es decir, la carne fresca. Lo cual permite acceder a las necesidades de la industria y principalmente a las del consumidor.
3. El análisis estadístico de caja y bigote fue capaz de mostrar la variación que había entre los parámetros analizados, con respecto a la media de cada análisis, es importante resaltar que este análisis estadístico también se basa en la prueba de Tukey al 95%, demostrando un alto rango de confianza para los resultados obtenidos.
4. El pH va aumentando conforme se aplica el tratamiento térmico, debido a que se va llevando la desnaturalización de las proteínas elevando el pH hasta la neutralidad o cerca de ella.
5. El cambio en la dimensión de la carne se observó de manera más notoria en la carne que fue sometida a congelación mecánica, cabe mencionar que a mayor temperatura de cocción mayor reducción de tamaño.
6. Los parámetros de color se ven afectados por el aumento de la temperatura, la luminosidad (L^*) y el color rojo (a^*) de la carne disminuyen a la aplicación de calor, el color amarillo (b^*), debido a la degradación de proteínas.

REFERENCIAS CITADAS

1. Aguilar, Jessica. Métodos de Conservación de Alimentos. Red Tercer Milenio S. C. 2012.
2. Almada, C.A.; Basso, L.R.; Carduza, F.; Cossu M.E.; Grigioni, G.M.; Irueta, M.; Picallo A.B.; Sanchez, G.; Vidales, S. (2008). Manual de procedimiento: Determinación de los parámetros de calidad física y sensorial de carne porcina. INTA, FAUBA, Univ. Nacional de Lujan. 21- 23, 30-39, 73.
3. Armendáriz, I.R; Belmar, R. y Ly, J y Mora A. "Algunos aspectos de la producción y manejo de cerdos en el exterior". Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Yucatán, Mérida, México (2000)
4. Badui, salvador. Química de los alimentos, 4ta edición, Pearson, 2006, p.p 716.
5. Basso, L.R. (2000). Aspectos sobre la calidad de la canal y de la carne porcina. Trabajo presentado en el 1º Curso de Actualización sobre Aspectos Productivos y de Comercialización en el Sector Porcino. Campus Universitario de Puerto Madero, UCA.
6. Bradford MM (1976): A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem. 72: 248-254.
7. Braeckman, L. Ronsse, F. Cueva, P. Pieters, J. (2009) Influence of Combined IR-grilling and hot air cooking conditions on moisture and fat content, texture and colour attributes of meat patties". *J Food Eng* 93, 437-443.
8. C.I.E. (1976). Colorimetrie, 2da ed. Publication C.I.E. N° 15, 2. Viena_: Central Bureau of the the Comisión Internacionale de L'Eclairage.
9. Carballo, B. (2001). Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Madrid, España, AMV Ediciones. 321 pag.
10. Carvajal Gabriela. Valor nutricional de la carne de res, cerdo y pollo. Corporación de Fomento Ganadero, Costa Rica. 2001.
11. CARVAJAL, G. 2001. Efecto del grupo racial sobre el valor nutricional, suavidad de la carne y rendimiento de la canal. Tesis Ing. Agronoma con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica.
12. Charley, H. (2000). Tecnología de los Alimentos, Limusa. México, D.F. 767 pag.
13. Chávez, Julio. La Maduración o añejamiento de las carnes. Revista Corporación ganadera. Universidad de Costa Rica. (2005).
14. Cofrades, S. Jiménez, F. (2003). Restructured beef with different proportions of walnut as affected by meta particle size. *Eur Food Res Technol*, 218: 230-236.
15. Enser, M., Kempster, A.J., Moncrieff, C.B. Whittington, F.M. y Wood, J.D. (1989). Backfat composition in pigs: Differences between fat thickness groups and sexes. *Livest. Prod. Sci.*, 22: 351-362.
16. Forrest J. C., (1979), Fundamentos de ciencia de la carne. Acribia, España.
17. García-Segovia, P. (2006). Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle. *J Food Eng* 80. 813-821.
18. Genot, Claude, congelación y calidad de la carne. Acribia. Zaragoza España 2000, p.p. 79.
19. Girard, J.P. (1991). Tecnología de la carne y productos carnicos, Acribia Zaragoza España, 300 pag.
20. Información técnica. HUNTER LAB.

21. Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012). Carne y productos cárnicos. Definiciones. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1217:2012, p.p. 10.
22. Jasso S.A.L., (1998), "Evaluación del tipo de proteínas presentes en embutidos comerciales tipo jamón cocido expendidos en la Cd. de México, mediante patrones electroforeticos en geles de poliacrilamida"; Tesis, FES-Cuautitlán, UNAM., México.
23. Kirk R.S., Sawyer R., Egan H. , (1996). Composición y análisis de alimentos de Pearson, 2ª ed. CECSA, México, D.F.324 pag.
24. LAWRIE, E.G. ciencia de la carne, España Acribia, 1987p. 93.
25. Libby, J. (1981). Higiene de la Carne, 2ª ed. Continental. México, D.F. 659 pag.
26. López Guadalupe, Rubio Salud, Valdez Sara. Efecto del cruzamiento, sexo y dieta en la composición química de la carne de ovinos Pelibuey con Rambouillet y Suffolk. Departamento de Ingeniería y Tecnología, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. 1999.
27. Mallet C.P., (1993), Reid D.S. in "Frozen Food Technology"; Blakie Academic Professional, 1st. ED., UK.
28. Manual de prácticas de bioquímica para la carrera de MVZ, UNAM
29. MARTÍN, V.J. (2010) Consumo de carne y productos cárnicos. Evolución y tendencias más recientes, Distribución y Consumo 111: 5-23.
30. Martínez, Leonel. Influencia de la Raza y el sexo sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de ovinos de pelo. Revista Tecnología para Ovinocultores, Universidad Autónoma del Estado de México. (2001).
31. Mascheroni R. H. & Calvelo A. (1982). A simplified model for freezing time calculations in foods. *J Food Sci* 47, 1201-1209.
32. Méndez, Laguna. Rodríguez, J. "Variaciones del contenido de humedad por el efecto de congelado a temperaturas de criogenia. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 7, No.2, (2008).
33. Messer. Congelación Criogénica, con calidad y rapidez. Messer Iberica de Gases, S.A. 2005.
34. Minolta. (1993). Precise color communication. Manual de colorímetros. MINOLTA.
35. Minor P.H, Guerrero, L.I. (2003). Efecto de la Fermentación Láctica con *Staphylococcus carnosus* y *Lactobacillus alimentarius* sobre la fracción miofibrilar de proteínas de carne de cerdo. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 2. 57-62.
36. Montgomery, DC. 2003. Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley, México D.F. p. 686.
37. Muriel E. Antequera T. Ruiz J. Efecto del tipo de músculo sobre parámetros de calidad en carne fresca de cérdco Iberico. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Mexico, 2002, p.p 241-247.
38. Ngapo, T.M. (1999). Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork. *Meat Sci* 53, 159-168.
39. Orrego, Carlos. Congelación y Liofilización de Alimentos. Departamento de ciencia y Tecnología de alimentos. Universidad Nacional de Colombia. (2008).
40. Panilla, G. Navarrete, J.Bermudez, M. Detección de antígenos dominantes para el diagnóstico de cisticercosis por inmunoelectrotransferencia.VOL.1 No. 1 2003:1-116
41. Peinado, B., Almela, L., Duchi, N., Poto, A. (2005). Parámetros de calidad en la canal y en la carne de cerdo Chato Murciano. *EdiPorc*, N° 54, pp. 7-17.
42. Pham, Q.T. y Mawson, R.F. (1997). Moisture migration and ice recrystallization in frozen foods. Quality in frozen food, ed. M.C. Erickson y Y.C. Hung. New York: Chapman & Hall.

43. Piquer, J. Coma, J. Calidad de carne en porcino: efecto de la nutrición. Grupo Vall Companys. FEDNA. 2001.
44. Poto, A., Galián, M., Peinado, B. 2007. Chato Murciano pig and its crosses with Iberian and Large White pigs, reared outdoors. Comparative study of the carcass and meat characteristics. *Liv. Sci.*, N° 111, pp. 96-103.
45. PRICE James, ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Editorial Acribia. Zaragoza España 1994, p.388.
46. Quezada, I. Maduración de la carne. (2013). Reporte No. 6, Agrimundo, febrero pág. 1-3.
47. Ramírez, Jorge. Características bioquímicas del musculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 2004.
48. Ripollspiau, J. (1982). Valores Normativos de la carne, Acribia. Zaragoza, España, 127 pag.
49. Rubio MS, Méndez RD. Calidad de la carne de animales de Abasto. I. Revista Ganadero 2001: Sep/Oct.
50. Santrich, Diana. Evaluación de la calidad y composición química de la carne de cerdo provenientes de animales de dos grupos de edad en Puerto Rico. Programa de ciencia y tecnología de alimentos, Universidad de Puerto Rico. 2006.
51. Sawa, M. "Efecto del sistema productivo, tiempo de conservación y sistema de envasado sobre parámetros de calidad físico-química de la carne porcina". (Tesis de grado). Universidad de Buenos Aires, (2009).
52. Solanas, A., Salafranca, L., Fauquet, J. y Núñez, M. I. (2005). Estadística descriptiva en Ciencias del Comportamiento. Madrid: Thompson.
53. Technical report, colorimetry. Commission Internationale de L'Eclairage. Hunter Lab. (2001). Principios básicos de medida y percepción de color.
54. USDA. El congelar y la Inocuidad de los Alimentos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2010.
55. USDA. Métodos inocuos para descongelar alimentos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2005.
56. www.codexalimentarius.org (CAC/RCP 8-1976). Código de Prácticas para la elaboración y manipulación de los alimentos congelados rápidamente.
57. www.praxair.com.mx
58. www.sagarpa.gob.mx