



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Aplicación de goma guar en lomo de cerdo
(*Longissimus thoracis*) en la descongelación
asistida por Ultrasonido.**

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

**PRESENTA
IRVIN URIEL HERNÁNDEZ PÉREZ**

**ASESORES: DR. JONATHAN CORIA HERNÁNDEZ
DRA. ROSALÍA MELÉNDEZ PÉREZ**

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



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

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

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

Aplicación de goma guar en lomo de cerdo (*Longissimus thoracis*) en la descongelación asistida por Ultrasonido.

Que presenta el pasante: Irvin Uriel Hernández Pérez

Con número de cuenta: 310270654 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Mayo de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	L.Q.I. José Oscar Germán Ibarra	
VOCAL	Dr. José Luis Arjona Román	
SECRETARIO	Dr. Jonathan Coria Hernández	
1er. SUPLENTE	I.A. María Guadalupe López Franco	
2do. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

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

Agradecimiento a los proyectos UNAM-DGAPA:

Por el financiamiento al proyecto:

- PAPIIT 201417

- PIAPI 1820

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Por darme salud y fuerza para seguir adelante en cada momento de mi vida.

A MIS PÁPAS (Teodoro y Selem): Por enseñarme lo que es el trabajo duro, a esforzarme por lo que deseo, a ser mejor cada día, a dar todo de mí, a jamás rendirme, porque cada vez que los veo a los ojos y me siento perdido vuelve a mi mente esa fuerza, esa entereza y la templanza de dar ese 101%, solo quiero que sepan que por cada vez que me caiga lo volveré a intentar una vez más y daré todo por jamás decepcionarlos, porque sin ustedes simplemente esto jamás hubiera ocurrido.

A MIS HERMANAS (Isis y Cecilia): Por impulsarme a seguir luchando, a nunca rendirme y tomarme siempre como ejemplo. Jamás las dejare solas.

A MI ABUELITA ESPERANZA: Por apoyarme en el momento preciso cuando más lo necesitaba y por siempre estar al pendiente de mí.

A MI KAREN: Porque ha sido mi compañera durante todo este largo viaje, porque literalmente esto no hubiera sido posible sino es por ti, por enseñarme a creer en mí y en lo que soy capaz de hacer e impulsarme hasta donde he llegado, siempre con esa palabra "Tú puedes, eres el mejor", gracias porque siempre has estado ahí en las buenas y en las malas, me acuerdo cuando me convidabas de comer porque no tenía dinero ni trabajo y aun así ahí estuviste siempre a mi lado, voy a dar todo de mí siempre porque te mereces el cielo, "Lo logramos mi amor".

A MI AMIGO AMEZCUA: Porque a pesar de no estar ligados por sangre siempre has sido para mi como familia, mi amigo, mi maestro en muchas cosas de la vida, muchas gracias por cada consejo, por que sabes de mi mucho antes de que yo hubiera nacido, me viste nacer, crecer, trabajar y ser quien soy hasta ahora, muchas gracias por ser una persona maravillosa.

A todas las personas que me apoyaron siempre a lo largo de mi vida, que se preocuparon por mí, saben que si logre esto fue por porque tome cada uno de los consejos que me dieron y me impulsaron a sobre todo ser mejor persona y ver la vida de una forma diferente.

A MIS PROFESORES: LAURA CORTAZAR, FRANCISCO JAVIER LÓPEZ, ELSA GUTIERREZ, ANTONIO GARCIA, GERMAN IBARRA, GUADALUPE LÓPEZ, DOLORES JASSO, SARA VALDEZ, VICTOR AVALOS(†) Y JOSE LUIS ARJONA quienes dejaron algo muy especial en mí, me inspiraron confianza, amor por lo que hago, por su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y a poner siempre en alto el nombre de la UNAM a donde voy, gracias a las bases que dejaron en mi para crecer como profesionista y persona.

A MIS ASESORES: Por la paciencia, consejos y el apoyo que recibí de ustedes a lo largo proceso.

"SI TU SUEÑOS SON GRANDES ES PORQUE TU CAPACIDAD DE LOGRARLOS TAMBIEN LO ES,
PROCURA SER TAN GRANDE QUE TODOS QUIERAN ALCANZARTE Y TAN HUMILDE QUE TODOS
QUIERAN ESTAR CONTIGO"

PAULO COELHO

INDICE GENERAL

Justificación	1
Introducción	2
1. Antecedentes	3
1.1. Congelación.....	3
1.1.1. Cristalización de agua.....	4
1.1.2. Propiedades importantes en la congelación.....	6
1.1.2.1. Temperatura inicial de congelación.....	6
1.1.2.2. Depresión del punto inicial de congelación.....	8
1.2. Descongelación.....	8
1.2.1. Punto de fusión de hielo.....	9
1.2.2. Tipos de descongelación.....	10
1.3. Ultrasonido.....	12
1.3.1. Onda.....	12
1.3.1.1. Movimiento de la onda.....	13
1.3.1.2. Tipos de onda y propiedades básicas.....	13
1.3.2. Onda ultrasónica.....	14
1.3.2.1. Equipos de ultrasonido.....	15
1.3.2.2. Mecanismos de acción del ultrasonido.....	15
1.3.2.3. Fenómeno de cavitación.....	16
1.3.2.4. Ultrasonido de alta intensidad.....	17
1.4. Goma guar.....	18
1.4.1. Viscosidad.....	29
1.4.1.1. Reacciones salinas y efecto del pH en la goma guar.....	20
1.4.2. Aplicación de goma por el método de inyección.....	20
1.5. Fluorescencia.....	22
1.5.1. Fluorescencia visible inducida.....	23
1.5.1.1. Factores que afectan a la fluorescencia.....	24
1.5.1.2. Medición del espectro visible por medio de la colorimetría.....	25
1.6. Carne.....	27
1.6.1. El agua.....	27
1.6.2. Estructura.....	28
1.6.3. Capacidad de retención de agua.....	31
1.6.4. Afectación de la C.R.A. por tratamientos térmicos en la carne.....	32
2. Metodología	34
2.1. Objetivo general.....	35
2.1.1. Objetivos particulares.....	35
2.1.2. Hipótesis.....	35
2.2. Actividades preliminares.....	38
2.3. Objetivo particular 1.....	39
2.4. Objetivo particular 2.....	40
3. Análisis de resultados	43
3.1. Actividades preliminares.....	43

3.2. Objetivo particular 1.....	45
3.3. Objetivo particular 2.....	49
Conclusiones	57
Referencias	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Periodos de una curva de congelación de agua pura.	6
Figura 2. Curva de congelación en alimentos a diferentes velocidades.	7
Figura 3. Cinética de descongelación del agua.	9
Figura 4. Representación de la fusión del agua.	10
Figura 5. Componentes de una onda.	13
Figura 6. Fenómeno de cavitación a altas y bajas frecuencias.	17
Figura 7. Estructura de la goma guar.	19
Figura 8. Proceso de inyección de carne.	21
Figura 9. Efecto de la luz UV en la solución de fluoresceína-Agua.	22
Figura 10. Espectro electromagnético.	23
Figura 11. Espacio de color CIE L* a* b*.	26
Figura 12. Representación esquemática del musculo esquelético.	28
Figura 13. Proteínas contráctiles en el musculo.	29
Figura 14. Inyección de biopolímero.	39
Figura 15. Forma de inyección del biopolímero.	39
Figura 16. Representación de la técnica LVI.	40
Figura 17. Tratamiento de imagen para toma de parámetros de color en Photoshop.	40
Figura 18. Técnica de 2 placas para la determinación de la capacidad de retención de agua.	42
Figura 19. Fluorescencia respecto a ángulo de incidencia.	45
Figura 20. Representación de toma de datos para la obtención de b* utilizada para la realización de la Anova	45
Figura 21. Tratamiento estadístico de los valores de b* respecto a la zona y ángulo de posicionamiento.	46
Figura 22. <i>Concentración de biopolímero dentro del área inyectada de acuerdo a los resultados de la Anova.</i>	46

Figura 23. Simulación de distribución de biopolímero en la carne y su relación con el ángulo de incidencia de luz UV sobre los valores de color b^* .	47
Figura 24. Tratamiento estadístico de los valores de L^* respecto a la zona y ángulo de incidencia.	48
Figura 25. Simulación de distribución de bp. en la carne y su relación con el ángulo de incidencia de luz UV sobre los valores de luminosidad (L^*).	49
Figura 26. Historia térmica de congelación para carne tratada con goma guar y sin guar.	50
Figura 27. Determinación del punto inicial de congelación a través de los puntos de inflexión de la derivada de la curva cbp.	51
Figura 28. Determinación del punto inicial de congelación a través de los puntos de inflexión de la derivada de la curva sbp.	51
Figura 29. Historias térmicas de descongelación de cortes de lomo de cerdo con y sin goma guar.	53
Figura 30. Determinación del punto de inflexión para la descongelación de muestras de lomo de cerdo expuestas a la operación de ultrasonido.	54
Figura 31. Determinación del punto de inflexión para la descongelación de muestras de lomo de cerdo sbp.	54
Figura 32. Diferencia en C.R.A. para muestras descongeladas con ultrasonido, pretratadas con bp, sin bp y comparadas con el valor de la carne fresca.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mecanismos de acción del ultrasonido.	16
Tabla 2. Aplicación de ultrasonido de poder o baja frecuencia en la industria de alimentos.	18
Tabla 3. Resultados de consistencia a diferentes concentraciones.	43
Tabla 4. Porcentaje de biopolímero expulsado.	44
Tabla 5. Pic y tiempo de congelación en muestras cbp y sbp.	50
Tabla 6. Valor experimental estándar de humedad para carne fresca.	55

JUSTIFICACIÓN

La inyección de biopolímeros en la carne se ha vuelto cada día un objeto de estudios más común, generalmente se utilizan gomas tales como la carragenina, algarrobo, guar, entre otras; ya que cumplen un papel muy importante en la retención de agua (C.R.A) debido a su alta capacidad espesante (Ligutom *et al.*, 2003) además, realizan funciones de interacción con las proteínas miofibrilares causantes en un 70% de la C.R.A, por lo que hace de estos una importante opción en la industria para evitar una gran cantidad de exudados en la carne al ser expuesta a operaciones como refrigeración, congelación e incluso tecnologías emergentes tales como la sonicación. El uso de los biopolímeros en conjunto con nuevas tecnologías como lo es el ultrasonido (US) de baja frecuencia ha traído consigo ideas para su aplicación en una gran cantidad de alimentos como jugo, leche, carne, entre otros, ya que se ha demostrado que el fenómeno de cavitación contribuye a mejorar las propiedades mecánicas de los mismos (Condón *et al.*, 2005). En la actualidad se buscan mecanismos los cuales permitan conocer la distribución y concentración de los biopolímeros inyectados en la carne con el fin de analizar la efectividad de una operación por la adición de solutos tales como la disminución en el punto inicial de congelación, existen técnicas en la medicina como la angiografía en la cual se utiliza el método de luz visible inducida y fluoresceína sódica que podrían ser de gran apoyo para conocer la distribución de goma guar dentro de las fibras de carne por lo que es importante la adaptación de esta técnica a la industria alimentaria.

INTRODUCCIÓN

En la industria cárnica se han ido adaptando técnicas que permitan el uso de hidrocoloides como agentes secuestrantes de agua a través de métodos como la inyección y el marinado, los cuales permiten mantener propiedades tales como la jugosidad y textura en la carne. Sin embargo, al ser expuestos a cambios de temperatura bruscos, por ejemplo, la descongelación con distintos métodos como agua caliente, microondas, etc., se producen exudados, lo que genera que el agua junto con vitaminas, proteínas y sales sean expulsadas del interior de la carne. Se ha demostrado que el fenómeno de cavitación por ultrasonido (US) en procesos como la congelación-descongelación e incluso cocción contribuye a mejorar las propiedades mecánicas de los mismos, ya que ésta produce espacios de aire (Burbujas) formados al final de cada ciclo los cuales al chocar con las paredes de la carne estallan generando un diferencial de presión y temperatura de hasta 500 MPa y 5500 °C, causando de esta manera que la fusión de los cristales de hielo sea más rápida que los métodos convencionales de descongelación. Las investigaciones traen consigo la adaptación de técnicas utilizadas en otras áreas, hablamos en este caso de la aplicación de sales fluorescentes utilizadas en áreas como oftalmología, pintura, medicina, entre otras y, llevada al área de la investigación en la inyección de cárnicos junto con biopolímeros, con el fin de determinar la penetración y distribución del hidrogel a través de los tejidos de la carne, teniendo de esta manera una capacidad de análisis mayor de lo que pasa dentro del seno de ésta y al mismo tiempo analizar el grado la efectividad de la aplicación de la goma en la operación a la que sea expuesta.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la goma guar al ser inyectada en cortes de lomo de cerdo y sometida al proceso de descongelación asistida por ultrasonido, con el fin de evaluar la reducción en el tiempo de operación, así como el cambio en la capacidad de retención de agua (C.R.A).

1. ANTECEDENTES

1.1. CONGELACIÓN

Uno de los procesos más utilizados en la conservación de alimentos es la congelación. Ello es debido a dos factores fundamentales, uno es que muchos microorganismos no pueden crecer a las bajas temperaturas utilizadas en esta operación.

Orrego (2008), menciona esta operación como un proceso de preservación originado por la reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que se comienzan a formar cristales de hielo en un material alimenticio. Debe su poder conservador a la transformación del agua líquida en hielo (Reducción de la actividad de agua), obstaculizando la actividad microbiológica y enzimática y a la reducción de la actividad biológica por el descenso de la temperatura que generalmente se lleva hasta un valor entre -10 y -20 °C.

La congelación de los alimentos puede realizarse de distintas formas y dependiendo de ello, la calidad del alimento congelado variará. Así, si ésta es instantánea se logra que existan muchos puntos del alimento donde empieza la formación de hielo; es decir, existe un gran número de núcleos, sin embargo, los cristales de hielo que se forman son de pequeño tamaño, por lo que los tejidos del alimento quedarán poco afectados. Por el contrario, si la operación es lenta, existe una menor cantidad de núcleos formando cristales de gran tamaño debido al tiempo de operación, lo que podría afectar el tejido celular en operaciones como la descongelación. En alimentos es importante conocer cómo varía la temperatura del alimento a lo largo del proceso de congelación (Bichowsky y Rossini, 1996), la temperatura de congelación del agua pura es 0 °C, por lo que, si se parte de agua a una temperatura superior, inicialmente existe un descenso por debajo de 0 °C. Es decir, existe un subenfriamiento por lo que posteriormente y debido al inicio de la formación de hielo, se desprende el calor latente, con lo que la temperatura alcanza de nuevo los 0 °C. En este punto la temperatura permanece constante hasta que toda el agua se ha convertido en hielo (Periodo de transición), al terminar este cambio temperatura desciende de nuevo, con una pendiente mayor.

Para el caso de un alimento, que como una aproximación puede considerarse como una solución acuosa, la temperatura en la que comienzan a aparecer los primeros cristales de hielo está siempre por debajo de la del punto de fusión del agua. Se puede presentar un subenfriamiento como en el primer caso, pero el cambio de fase se hace con temperatura constante, cristalizando inicialmente sólo agua pura hasta un punto en el que se comienzan a formar los cristales del "soluto" (o del alimento o solución concentrada), lo que nuevamente causa un pequeño gradiente en la temperatura, conocido como punto eutéctico. Perry (1996) menciona que el tiempo transcurrido desde que el

alimento alcanza su temperatura inicial de congelación hasta que se llega al punto final de congelación se le conoce como tiempo de congelación.

El proceso de congelación incluye las siguientes etapas:

Pre-congelación o enfriamiento:

Es el período desde el inicio del enfriamiento hasta que comienza a cristalizarse el agua, en esta parte no hay un cambio de estado es decir solo existe un aumento en el calor sensible llegando así este periodo a su fin al alcanzar la temperatura de 0 °C en donde se da origen a otra fase llamada congelación.

Congelación:

Es el período durante el cual, se libera calor latente del sistema para generar un cambio de fase debido a la formación de cristales de hielo, para una sustancia pura el descenso en la temperatura es constante. Sin embargo, en alimentos comienzan a aparecer los primeros cristales de hielo siempre por debajo de la del punto de fusión del agua. Se puede presentar un subenfriamiento como en el primer caso, sin embargo debido a la composición de más compleja de lo alimentos, el comportamiento de la curva es diferente observándose una meseta más prolongada, cristalizando inicialmente sólo agua pura hasta un punto en el que se comienzan a formar los cristales del "soluto" (o del alimento o solución concentrada), lo que nuevamente causa un pequeño salto en la temperatura, conocido como punto eutéctico, seguido por una "meseta" de congelación que finaliza en un punto generalmente difícil de determinar, en donde se considera que el producto está completamente congelado.

Subenfriamiento:

Luego que los materiales se congelan por completo, sigue un descenso de temperatura aproximadamente lineal, causado por el retiro de calor sensible del producto sólido, fase que concluye cuando el material alcanza la temperatura del medio refrigerante o congelador utilizado para el proceso.

1.1.1. CRISTALIZACIÓN DE AGUA

Según Orrego (2009) un cristal puede definirse como un sólido formado por átomos, iones o moléculas, que guarda una distribución ordenada y repetitiva. La cristalización es un proceso donde se forman partículas sólidas a partir de una fase homogénea. El tamaño y la estructura de los cristales de hielo dependen de la velocidad de enfriamiento utilizada y del grado de subenfriamiento del sistema. La cristalización de hielo es un aspecto de mayor importancia en la congelación. La formación de hielo durante la cristalización se puede describir en tres etapas:

- Nucleación o paso inicial de formación de cristales semilla.
- Propagación o etapas de crecimiento de cristales.
- Maduración o recristalización.

Nucleación: Aparecen los núcleos de hielo como consecuencia del subenfriamiento. (Pham y Mawson, 1997) reconocen dos clases de nucleaciones:

- **Nucleación homogénea:** Cuando se enfría agua o cualquier otra solución libre de impurezas, a la nucleación se le llama homogénea. En el caso del agua se reporta que su nucleación homogénea tiene lugar entre -39 a -41 °C. Bhandari y Howes (1999). Este tipo de nucleación es rara aún en sustancias puras; la mayoría de los procesos de cristalización no son homogéneos debido a la presencia de superficies y partículas extrañas que, inevitablemente, entran en contacto con el sistema que cristaliza.
- **Nucleación heterogénea:** Ocurre cuando las moléculas de agua se aglomeran alrededor de un agente nucleador tal como un material insoluble. Tales agentes reducen la energía necesaria para formar el núcleo crítico; consecuentemente, reducen el grado de subenfriamiento (Kiani y Sun, 2011).

Propagación:

La propagación o crecimiento cristalino requiere que las moléculas puedan difundirse hasta la superficie de los núcleos cristalinos crecientes. La presencia de pocas cantidades de impurezas disminuye el índice de la propagación. Mientras que la cantidad de cristales de hielo aumenta y la temperatura disminuye, la concentración del soluto de la fase no congelada aumenta llegando a cierta concentración máxima de solutos en la que la cristalización se detiene y la matriz no congelada vitrifica, es decir la vitrificación es el proceso de conversión de un material en un sólido amorfo similar al vidrio, carente de toda estructura cristalina, la solidificación de un sólido vítreo se produce a la temperatura de transición vítrea, que es menor que la temperatura de fusión (Gómez et al., 2007)

Recristalización:

La recristalización se puede definir como cualquier cambio en el número, el tamaño, la forma, la orientación o la perfección de cristales después de finalizada la solidificación inicial. La recristalización es el proceso en el cual, con el paso del tiempo, el promedio de tamaño de los cristales de hielo aumenta y su número disminuye por efecto de la redistribución del agua desde

los pequeños cristales de hielo hacia los grandes. Este reacomodo de los cristales genera una mayor estabilidad de la molécula, sin embargo; tiene algunos contras en la industria de los alimentos siendo causante de la ruptura de las estructurales en frutas, verduras y carnes desvalorizando los productos.

1.1.2. PROPIEDADES IMPORTANTES EN LA CONGELACIÓN

1.1.2.1. TEMPERATURA INICIAL DE CONGELACIÓN

La temperatura de congelación es aquella en la que empiezan a formarse los primeros cristales de hielo; es decir, la temperatura en la que coexisten en equilibrio cristales de hielo y agua líquida. Para el agua pura esta temperatura corresponde a 0 °C a 1 atm de presión. Sin embargo, el agua de los alimentos contiene sólidos solubles y es conocido que el efecto de estos sólidos hace descender el punto de congelación del agua. Por ello, la temperatura a la que se inicia la congelación de los alimentos es inferior a los 0 °C (Pham *et al.*, 1994). Es evidente que para un alimento la concentración de sólidos solubles del agua no congelada va aumentando a medida que se avanza la operación, lo que determina el que la temperatura de congelación varíe con el tiempo. Por esta razón, se suele utilizar la temperatura inicial de congelación, correspondiente a la aparición de los primeros cristales de hielo.

En Figura 1 se muestran las partes y periodos que forman una curva de congelación:

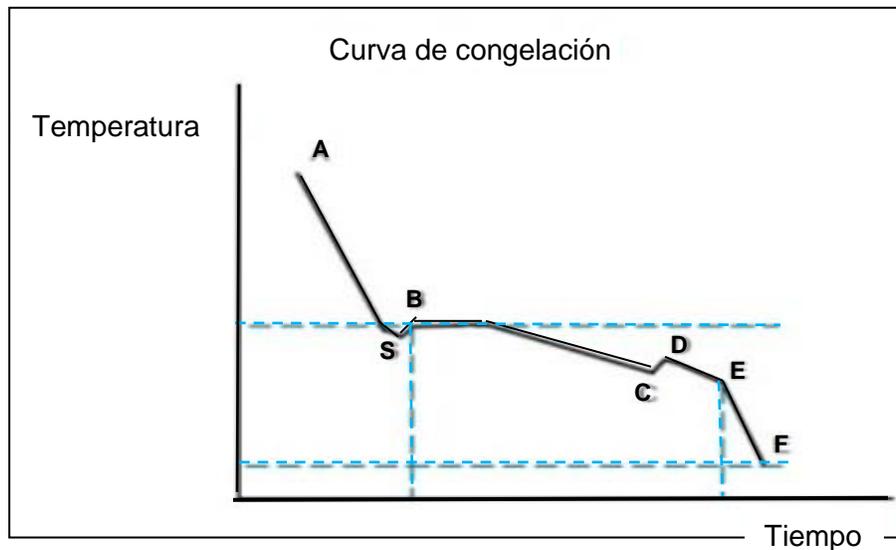


Figura 1. Periodos de una curva de congelación de agua pura.

Fuente: Orrego, 2009.

Esta curva posee las siguientes secciones:

AS: El alimento se enfría por debajo de su punto de congelación interior a 0 °C. En el punto S al que corresponde una temperatura inferior al punto de congelación, el agua permanece en estado líquido. Este subenfriamiento puede llegar a ser de hasta 10 °C por debajo del punto inicial de congelación.

SB: La temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, pues al formarse los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que se extrae del alimento.

BC: El calor se elimina a la misma velocidad que las fases anteriores, eliminándose el calor latente con la formación de hielo, permaneciendo la temperatura constante. El incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provoca el descenso del punto de congelación, por lo que la temperatura disminuye ligeramente. En esta fase es en la que se forma la mayor parte de hielo.

CD: Uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. La liberación del calor latente correspondiente provoca el aumento de la temperatura hasta la temperatura del soluto.

DE: La cristalización del agua y los solutos continúa.

EF: La temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende.

Una vez comprendidas las fases de la congelación, a continuación, se muestra la curva típica

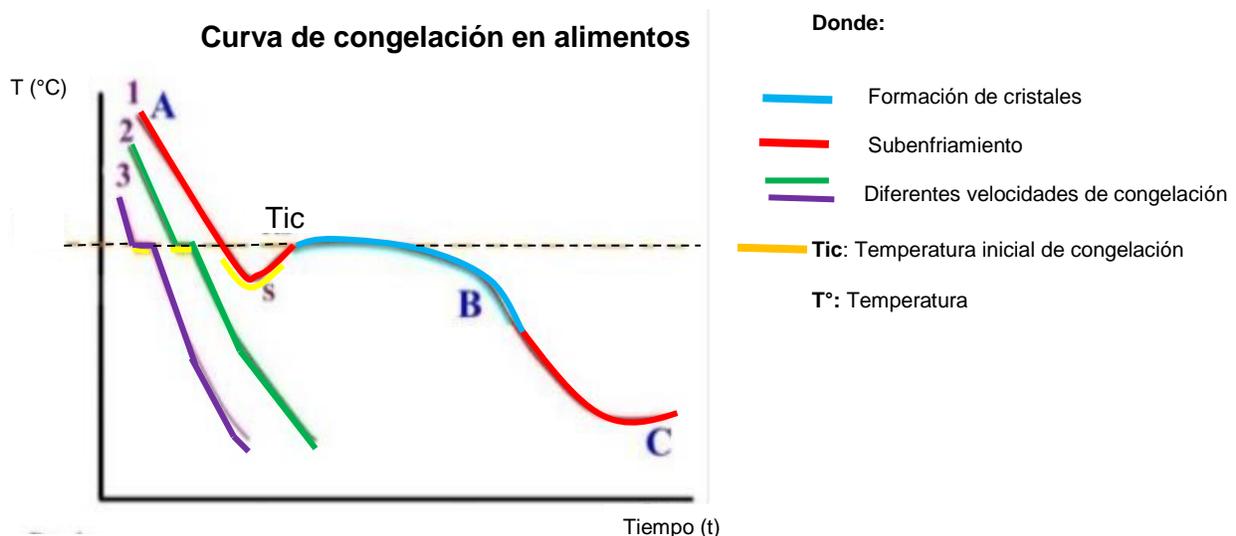


Figura 2. Curva de congelación en alimentos a diferentes velocidades

Fuente: Orrego, 2009

Por otro lado, se ha experimentado con una gran cantidad de alimentos en el cual se tratan de demostrar las teorías y modelos matemáticos que autores como (Rahman y Driscoll, 1994) mencionan acerca de la determinación del punto inicial de congelación. Estos autores utilizaron un método para medir el punto de congelación el cual consistía en ubicar la muestra en un cilindro de acero inoxidable y luego colocar éste en un baño de etilen glicol a una temperatura de -20 °C, la temperatura de la muestra era medida en intervalos de 1 minuto utilizando un termopar, finalizando con la creación de una historia térmica en donde se obtenían los valores de temperatura y el Punto inicial de congelación (Pic) así como el tiempo necesario para esta operación. Estos autores determinaron el Pic de la carne de cerdo magra a con una humedad de 80%, mediante este método obteniendo un valor de -1.7 °C.

1.1.2.2. DEPRESIÓN DEL PUNTO INICIAL DE CONGELACIÓN

El punto inicial de congelación de una disolución es la temperatura a la cual se comienza a formar los primeros cristales de disolvente puro en equilibrio con la disolución. En este caso de la formación de una solución, cuando a un solvente puro se le agrega un soluto, este no solo disminuye la presión de vapor del solvente, sino que la solución se congela a una temperatura inferior a comparación con la del solvente.

La temperatura inicial de congelación de la carne es inferior a la del agua pura, debido a que en el agua que hace parte de la carne se encuentran diluidos componentes menores como: carbohidratos, sodio, potasio, fósforo, calcio, magnesio, así como las mayores la cuales son proteínas y lípidos, que reducen su punto de congelación (Gabas *et al.*, 2003). La cantidad de calor por unidad de masa transferido durante un cambio de fase se llama calor de calor latente del proceso, esto ocurre durante la fusión o congelación de agua; es por ello que cuando se adicionan solutos al agua como en el caso de los alimentos la concentración de masa aumenta, la transferencia de energía es más lenta y por tanto la cantidad de energía necesaria para transformar el agua en hielo es mayor (Franke, 2000)

Donde:

T_c = Descenso crioscópico
 K_c = Constante crioscópica
 m = Concentración molar del soluto

$$\Delta T_c = K_c m \dots\dots\dots E_c \quad (1)$$

1.2. DESCONGELACIÓN

La descongelación consiste en fundir los cristales de hielo formados previamente en el proceso de congelación mediante un incremento paulatino de la temperatura generado por una fuente de energía que lo suministra. Usando una correcta forma de descongelación se obtienen alimentos de buena calidad, en caso contrario la perdida de materia como sales,

humedad y otros componentes hace que los productos no logren recuperar las características iniciales. Eso depende de igual manera del método de congelación utilizado previamente (Rápida/Lenta), lo que determinará el tipo de formación de cristales de hielo y el daño mecánico sobre las estructuras celulares de los alimentos (Rodríguez, 2006).

En alimentos existen diversos factores que contribuyen a que exista un comportamiento diferente en su descongelación, uno de ellos es la formación de una capa acuosa líquida en la superficie del producto que se está descongelando, formando una barrera que mantiene el producto un largo periodo a 0°C debido a que el agua tiene menor conductividad térmica que el hielo, cabe destacar que durante el tiempo en el que una sustancia está cambiando de estado la temperatura no cambia, aunque suministremos calor, debido a que toda la energía transmitida se invierte en realizar el cambio de estado (Figura 3).

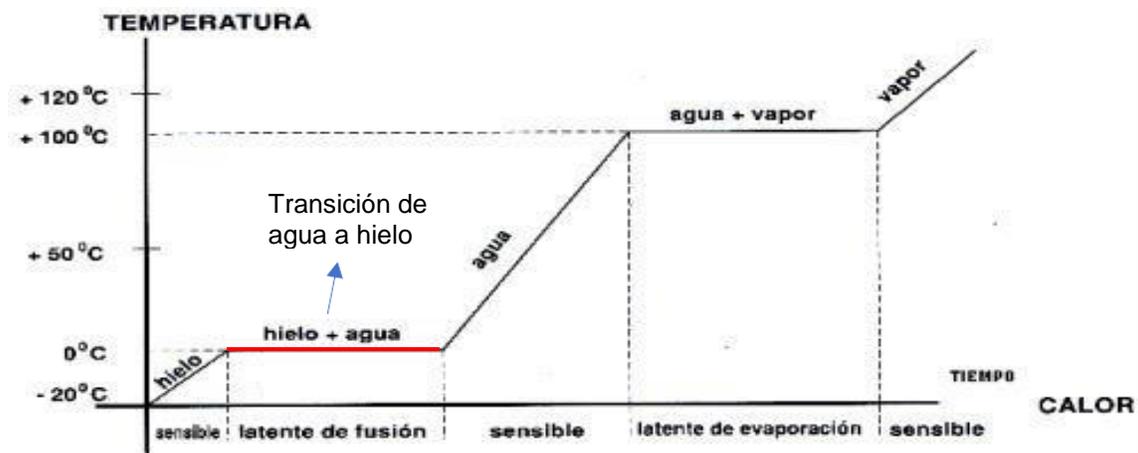


Figura 3. Cinética de descongelación del agua.

Fuente: (Gutiérrez, 2000)

1.2.1. PUNTO DE FUSIÓN DE HIELO

El punto de fusión es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido, es decir, la materia pasa de estado sólido a estado líquido, cabe destacar que el cambio de fase ocurre a temperatura constante. El punto de fusión es una propiedad intensiva porque no depende de la masa de la muestra.

Según Plank, (2005), para que esto ocurra es necesario que se rompan las fuerzas intermoleculares que mantienen cohesionados la estructura cristalina de las moléculas de un compuesto y por tanto su valor dependerá del balance de las diferentes fuerzas intermoleculares. Por ello, dos compuestos diferentes, aunque presenten estructuras similares, tendrán diferentes puntos de fusión y por tanto una de las utilidades su determinación del punto de fusión es la

posibilidad de identificar sustancias. Además, la presencia de impurezas, incluso en pequeñas cantidades, produce una disminución del punto de fusión, acompañado generalmente de un incremento del intervalo en que funde, por ello otra de las utilidades de la determinación del punto de fusión es como criterio de pureza de un determinado compuesto.

En la Figura 4 se muestra la representación del cambio de fase del agua pura cuando se aplica energía bajo ciertas condiciones, en esta se puede observar el punto de fusión del agua, así como su punto de ebullición.

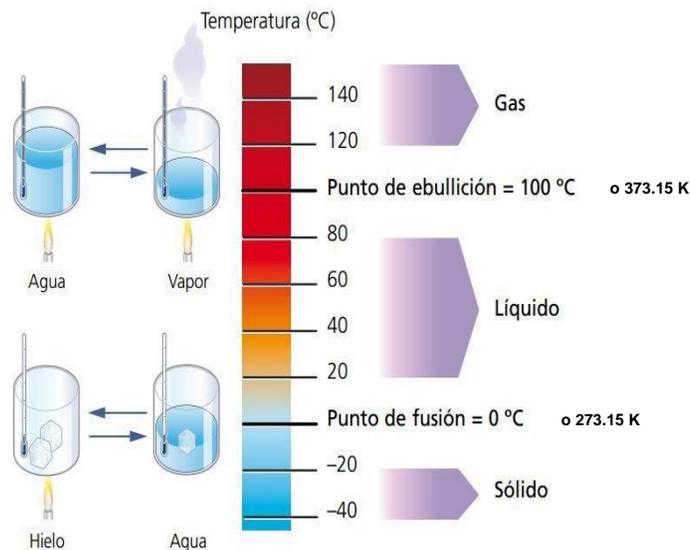


Figura 4. Representación de la fusión del agua

Fuente: Tambutti y Muñoz, 2002.

1.2.2. TIPOS DE DESCONGELACIÓN

La descongelación es normalmente un proceso más lento que la congelación, puesto que la conductividad térmica de los tejidos congelados es mucho menor que la de los no congelados. Además, la formación de una capa acuosa líquida en la superficie del producto que se está descongelando forma una barrera que mantiene el producto un largo período a 0 °C, con todos los problemas que ello conlleva: aumento de la concentración, recristalizaciones y aumento de microorganismos.

Dentro de los procesos de descongelación se encuentran dos grandes tipos:

Descongelación rápida: Esta consta principalmente en tomar el alimento congelado y llevarlo a temperatura ambiente o superior, mediante el uso de equipos como el microondas, uso de vapor de agua, exposición directa al fuego y otras técnicas como horno convectivo, ultrasonido etc.

- **Microondas**

El microondas funciona transformando la energía eléctrica en ondas de alta frecuencia que penetran en el interior de los alimentos provocando fricción entre las moléculas y, por consiguiente, calor. En un horno de microondas convencional, los alimentos se calientan por dos vías distintas. La primera es la transmisión del calor del aire que los rodea hacia el interior del alimento. La segunda es por medio de una radiación que proviene de una resistencia, esas microondas tienen algunas propiedades interesantes, por un lado, son absorbidas por las moléculas del agua, por los azúcares y por algunas grasas y cuando eso ocurre, las hacen vibrar y rotar muy rápidamente, unas 2,400 veces por segundo, esta energía que lo genera se llama energía cinética. El calor se genera por tanto dentro del propio alimento y se va extendiendo, al contrario que ocurría en el horno. Es precisamente por esto por lo que los alimentos calentados o cocinados en el microondas no tienen ese aspecto seco y crujiente, sino que quedan algo húmedos y reblandecidos: en este caso el agua se va evaporando de dentro hacia fuera, condensándose en la superficie (Datta y Davidson, 2003).

- **Horno convectivo**

En éste propicia el movimiento de aire caliente en cada uno de los espacios de la cámara, esto permite que comienza a fundirse los cristales de hielo desde el exterior hacia el interior de forma homogénea generando la formación de microcanales por los cuales el agua viaja a través de ellos del interior hacia el exterior, posicionándose en la superficie de la carne el cual es considerado como exudado. Las condiciones de operación se encuentran entre los 80°C por un lapso aproximado de 15 minutos en el caso de cortes de carne de cerdo, el aumento drástico en la temperatura beneficiaría la formación de una capa exterior o costra la cual modificaría los tiempos y la cantidad de energía utilizada para este fin.

Descongelación lenta: Se lleva al alimento a una temperatura por arriba de los 0 °C mediante el uso del cámara de refrigeración, esta técnica consiste en crear un gradiente paulatino en la temperatura mediante una cadena de frío; en donde el material a descongelar no experimenta abruptamente un cambio inmediato de energía para la fundición de los cristales (Plank, 2005).

- **Cámara frigorífica**

La manera adecuada para la descongelación de carne es mediante la refrigeración ya que al aumentar la temperatura cerca de los 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).

- **Inmersión en agua**

Este método es más rápido que el descongelar en el refrigerador, pero requiere de más atención. Los alimentos deben estar en un envase impermeable o dentro de una bolsa plástica, la bolsa debe sumergirse en agua 18 °C, cambiando el agua cada 30 minutos para que continúe descongelándose. Un paquete de 1.5 a 1.8 kg puede tomar de 2 a 3 horas. Los alimentos deben cocinarse inmediatamente, si se descongelan completamente (USDA, 2005).

En función a la finalidad del producto distinguimos 2 tipos de descongelación:

- **Descongelación parcial.** Se usa para fabricar porciones individuales. Se incrementa la temperatura del producto hasta -5 °C, donde el 60-70 % del agua está todavía en forma de hielo, pero la consistencia de este permite la manipulación y preparación.
- **Descongelación total:** La descongelación es completa y es necesaria para efectuar sin dificultad operaciones como el deshuesado, generalmente se realiza en cámara frigorífica.

1.3. ULTRASONIDO

Como se sabe, en la descongelación rápida como el microondas, el empleo de ondas es necesarias para este proceso ya que a través de ellas se genera o transmite el calor el cual permite que las estructuras en forma de cristales de hielo se fundan. Sin embargo, existen otros medios como lo es el ultrasonido el cual combina un medio acuoso y la aplicación de ondas ultrasónicas generando una presión y temperatura tan grande que el proceso de descongelación se reduce.

1.3.1. ONDA

Una vibración puede definir las características necesarias y suficientes que caracterizan un fenómeno como onda. El término suele ser entendido intuitivamente como el transporte de perturbaciones en el espacio, donde se considera el espacio como un medio en el que pueden producirse y propagarse dichas perturbaciones a través de él, al variar alguna de sus

propiedades medibles (Montiel, 2000).

En la Figura 5 se muestran las partes que componen una onda.

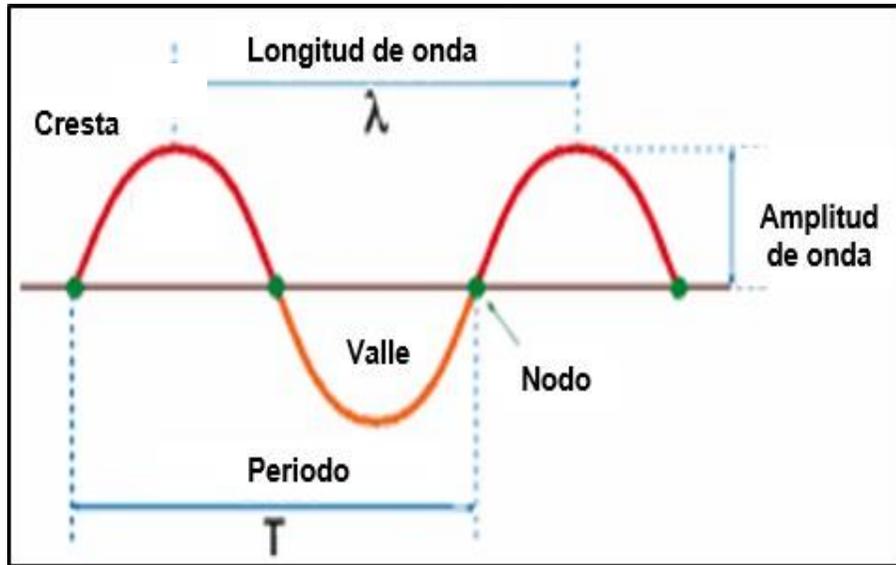


Figura 5. Componentes de una onda

Fuente: (Alzate, 2006)

1.3.1.1. MOVIMIENTO DE LA ONDA

Las ondas ultrasónicas se propagan en casi la mayoría de los materiales que poseen elasticidad a través de un desplazamiento sucesivo de los elementos que componen dicho material. Al existir esta elasticidad aparecerá una fuerza restauradora que tenderá a traer a cada elemento del material de vuelta a la posición a la cual estaba antes de la presencia de la onda ultrasónica. Debido a que la mayoría de los medios también poseen inercia, la partícula continuará en movimiento, pasando por su posición de equilibrio, hasta alcanzar otra posición diferente, más allá de la original. Desde este último punto la partícula retornará a su posición de equilibrio para continuar oscilando y disminuyendo constantemente su amplitud. Los elementos del material ejecutan diferentes movimientos mientras la onda pasa a través de ellos. Es la diferencia en estos movimientos los que caracteriza a los tipos de ondas ultrasónicas (Alzate, 2006).

1.3.1.2. TIPOS DE ONDA Y PROPIEDADES BÁSICAS

Las ondas ultrasónicas que se transmiten a través de un medio pueden ser descritas basándose en dos factores: el movimiento específico que cada tipo de onda provoca en los elementos del medio y la capacidad de imprimir un cambio de volumen al material. La trayectoria que los elementos del material siguen en respuesta al paso de una onda

ultrasónica se llama órbita. Si la órbita es paralela a la línea de propagación, la onda es llamada **longitudinal**. Por otro lado, cuando el movimiento del medio es perpendicular a la dirección de propagación, la onda es llamada **transversal o de corte**. Si las ondas pueden viajar dentro de una distancia muy corta de la superficie, son llamadas **ondas superficiales o de Rayleigh**. También existen las ondas de flexión cuyo movimiento de partícula es similar al de las ondas superficiales, pero se diferencian de estas últimas en que las ondas de flexión se propagan más allá de la superficie en el medio. Cuando se produce un cambio en el volumen de un material atravesado por una onda ultrasonora, es decir, se provocan expansiones y compresiones en éste, se habla de ondas de dilatación. En el caso contrario, se habla de ondas de distorsión (Vassilakis, 2001).

Velocidad de propagación

Es la velocidad en la que el sonido viaja a través de un tejido y se considera en promedio de 1,540 m/s para los tejidos blandos. La velocidad de propagación del sonido varía dependiendo del tipo y características del material por el que atraviese. Los factores que determinan la velocidad del sonido a través de una sustancia son la densidad y la compresibilidad, estos dos términos se refieren a la cantidad y distancia de las moléculas, respectivamente: la velocidad es inversamente proporcional a la compresibilidad, es decir, las moléculas en los tejidos más compresibles están muy separadas, por lo que transmiten el sonido más lentamente, por lo tanto los materiales con mayor densidad y menor compresibilidad transmitirán el sonido a una mayor velocidad. Esta velocidad varía en cada tejido; por ejemplo, en la grasa, las ondas sonoras se mueven lentamente, mientras que, en el aire la velocidad de propagación es tan lenta que las estructuras que lo contienen no pueden ser evaluadas por ultrasonido (Villaseñor *et al.*, 2012)

1.3.2. ONDA ULTRASÓNICA

Ultrasonido es el nombre que reciben las ondas de sonido con frecuencias mayores a aquellas que pueden ser detectadas por el oído humano. El ultrasonido maneja ondas con frecuencias entre 16 y 20 MHz, las cuales al ser aplicadas pueden llegar hasta 5 en gases o hasta 500 MHz en líquidos y sólidos (Mason *et al.*, 2005). Desde el punto de vista industrial, el ultrasonido se puede dividir en dos grandes grupos: ultrasonido de alta intensidad (UAI) y el ultrasonido de baja intensidad (UBI). El UAI es usado para modificar procesos o productos, mientras que el UBI se aplica para el diagnóstico (Condón *et al.*, 2005). Las frecuencias altas son fácilmente atenuadas que las bajas, de ahí que el UAI es aplicado a bajas frecuencias para obtener niveles de poder altos (10-1000 W/cm²), por lo que se le conoce como ultrasonido de alto poder. Por otro lado, el UBI utiliza frecuencias mayores para garantizar una adecuada resolución, pero a niveles de poder bajos, típicamente menores a 1 W/cm² (Torley y Bhandari, 2007).

1.3.2.1. EQUIPOS DE ULTRASONIDO

Los equipos modernos ultrasónicos consisten en un generador eléctrico y un transductor. El generador produce pulsos de energía de alto voltaje a la frecuencia establecida en el transductor, siendo éste el componente más importante del sistema. El transductor es movido por la potencia suministrada de un primer sistema al segundo el cual genera el principio piezoeléctrico para convertir la energía eléctrica en ultrasónica con una eficiencia del 98% (Mason *et al.*, 2005). Los dos equipos más comunes a nivel laboratorio son el baño y las sondas ultrasónicas.

1) Baños de ultrasonidos

Los baños posiblemente sean la aplicación más popular de los ultrasonidos de potencia. Aunque se utilicen normalmente como equipos de limpieza de material de laboratorio, en algunas referencias bibliográficas como Robles (2012) y Knorr *et al.*, (2004) se encuentra que estos se han usado para acelerar los procesos de transferencia de materia en medios líquidos. Se pueden calificar como equipos ultrasónicos simples y compactos; en donde sus principales limitaciones son la poca potencia que suministran al medio si se comparan con otros sistemas, como la variación del campo acústico dentro del baño y la dificultad en el control de la temperatura (Borja *et al.*, 2014).

2) Sistemas tipo sonda

La utilización de sondas ultrasónicas permite introducir la energía acústica directamente en la pared del alimento en lugar de depender de la transferencia a través del agua como el del baño de ultrasonido, con lo cual se puede aumentar la cantidad de potencia ultrasónica disponible para efectuar el cambio en el objeto de estudio. En este tipo de equipos, se utiliza una sonda metálica para aplicar al medio líquido la vibración generada en el transductor, la potencia aplicada dependerá de la amplitud de vibración en la punta de la sonda que se controlará variando la potencia eléctrica suministrada por el equipo generador/amplificador.

1.3.2.2. MECANISMOS DE ACCIÓN DEL ULTRASONIDO

Los científicos se han concentrado en entender el mecanismo de acción del UAI para la inactivación de microorganismos, ya que cuando este se aplica, tiene el potencial de causar la muerte celular, lo que conlleva a diversas hipótesis, entre las que se encuentran los fenómenos de cavitación, el calentamiento localizado, la formación de radicales libres y el aumento de la temperatura y la presión, entre otras.

Los mecanismos de acción del ultrasonido se clasifican principalmente en térmicos (generación de energía calórica o mecánica) y no térmicos (cavitación, rarefacción, formación de radicales libres, choques micromecánicos y fuerza de radiación).

En la (Tabla 1) se muestran algunas de las aplicaciones del ultrasonido respecto del mecanismo de acción que se esté presentado.

Tabla 1. Mecanismos de acción del ultrasonido.

Teoría	Mecanismo	Aplicación
Cavitación	Remoción mecánica por irrupción de las paredes celulares a través de burbujas localizadas con altas temperaturas (5500°C) y (500 MPa)	Procesos de desinfección, lisis celular e inactivación enzimática.
Formación de radicales libres	Sonolisis del agua puede producir iones (OH ⁻) y (H ⁺) y peróxido de hidrogeno	Inactivación microbiana y enzimática
Choques micro-mecánicos intracelulares	Disrupción de las células y disminución del grosor de paredes celulares	Lisis celular, inactivación enzimática y efecto antimicrobiano.
Compresión y rarefacción	Microcorriente acústica	Inactivación microbiana y enzimática

Fuente: (Schneider et al., 2009).

1.3.2.3. FENÓMENO DE CAVITACIÓN

Cuando una onda sónica se propaga en un medio líquido de forma longitudinal, se crean ciclos de compresión y expansión alternados. Cuando la presión en el líquido creada por el ciclo de expansión alternativo, es lo suficientemente menor para superar las fuerzas intermoleculares (Fuerza de tensión), se forman pequeñas burbujas. Durante el subsecuente ciclo de expansión-compresión, las burbujas de gas se expanden y contraen simultáneamente. Esta formación y la evolución del tamaño de estas burbujas se conoce como cavitación.

La cavitación se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud que alternan rápidamente. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original. La implosión supone liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin que supongan una elevación de temperatura sustancial en la temperatura del líquido tratado. La energía liberada, así como el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión afectan la estructura de los materiales situados en el microentorno.

La fuerza de tensión en líquidos puros es muy alta y difícil de superar, sin embargo, la mayoría de los líquidos contienen burbujas de gas que pueden actuar como núcleos de cavitación, aun cuando el vacío generado a través de estas sea baja (Condón *et al.*, 2005).

En la Figura 6 se muestra la representación del fenómeno de cavitación, así como la influencia en la potencia con respecto al manejo de frecuencias de alta y baja intensidad durante operación de sonicación.

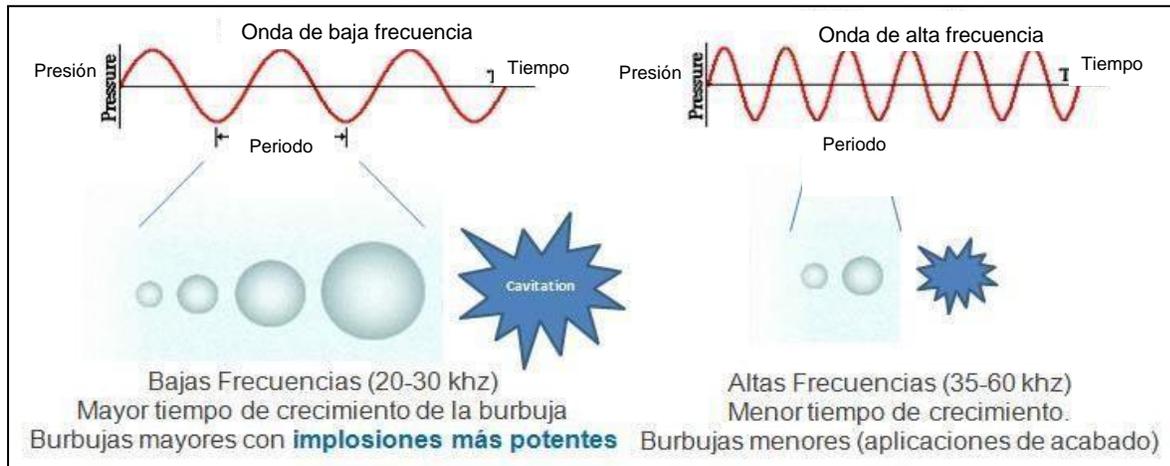


Figura 6. Fenómeno de cavitación a altas y bajas frecuencias

Fuente: Ultratecno.eu ©

1.3.2.4. ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD

El UAI puede ayudar en el proceso de congelación-descongelación, disminuyendo el tiempo de proceso y mejorando la calidad del producto final (Zheng y Sun, 2006). Se ha demostrado que el UAI incrementa el coeficiente convectivo de transferencia de calor (Lima y Sastry, 1990), entre el alimento y el medio refrigerante; además influye en la cristalización, incrementando la velocidad de nucleación y crecimiento de cristales (Mason *et al.*, 2005).

En contraparte, el proceso de descongelado se ha demostrado que la absorción de la energía ultrasónica depende de la relajación termoelástica de los cristales de hielo (mesofase) en el alimento y se ve afectada por la orientación y tamaño de los mismos, presencia de impurezas en los cristales de hielo y la temperatura (Zheng y Sun, 2006). El ultrasonido, aunque es una tecnología destructiva, puede mejorar los procesos, las características nutricionales, la digestibilidad y la homogenización de materiales.

En la Tabla 2 se resumen las principales alternativas que el UAI posee para el tratamiento, procesamiento y conservación de alimentos. Algunas de las aplicaciones del UAI según lo menciona Dolatowski *et al.*, (2007) son:

Tabla 2. Aplicación de ultrasonido de poder o baja frecuencia en la industria de alimentos.

Aplicación	Descripción
Efectos antimicrobianos	Destrucción microbiana.
Transferencia de calor	Incremento en velocidad de congelación, descongelación y cocido.
Transferencia de masa	Incremento en velocidad de transferencia de masa.
Procesado de cárnicos	Tenderización de la carne.
Emulsificación, encapsulación y homogenización.	Homogenización y emulsificación de grasas
Fermentación y maduración	Incremento en la velocidad de fermentación.
Cristalización	Control de nucleación y crecimiento de cristales.
Corte	Cortado de productos frescos y congelados. (Rawson,1998).
Espumante	Espumado de bebidas carbonatadas, despumado de fermentos microbianos
Extracción	Mejoramiento de extracción de compuestos
Desnaturalización de proteínas	Cambio a estructuras más simples.
Polimerización y despolimerización	Aplicación de polímeros alimentarios.

Fuente: Torley y Bhandari, 2007

El uso de ultrasonido alta intensidad como se mencionó anteriormente tiene aplicación en los polímeros alimentarios, generalmente se suele usar para degasificar dispersiones, emulsificar, en la polimerización y despolimerización, así como también en el marinado a través de la transferencia de masa, generalmente el equipo más utilizado para este fin es el baño de ultrasonido.

1.4. GOMA GUAR

Las gomas pueden ser definidas en términos prácticos como moléculas de alto peso molecular con características o hidrofílicas o hidrofóbicas que usualmente tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir geles al combinarse con el solvente apropiado. De este modo, el término goma se aplica a una gran variedad de sustancias con características gomosas. Sin embargo, es más común la utilización del término goma para referirse a polisacáridos o sus derivados, obtenidos de plantas o por procesamiento microbiológico que, al dispersarse en el agua fría o caliente, producen soluciones o mezclas viscosas.

La goma guar es un carbohidrato polimerizado que contiene D-galactosa y D-manosa en sus bloques estructurales, es un polisacárido no absorbible, de cadena larga, de naturaleza aniónica, y de elevado peso molecular, útil como agente espesante en agua, como reactivo de adsorción y ligador de hidrogeno con superficies minerales y celulósicas (Figura 7). Las dispersiones de goma guar y sus derivados, son fluidos no newtonianos, clasificados como pseudoplásticos, se vuelven fluidos de forma reversible cuando se aplica calor, pero se degradan irreversible cuando se aplica alta temperatura y tiempo prolongado Nussinovitch, (2013).

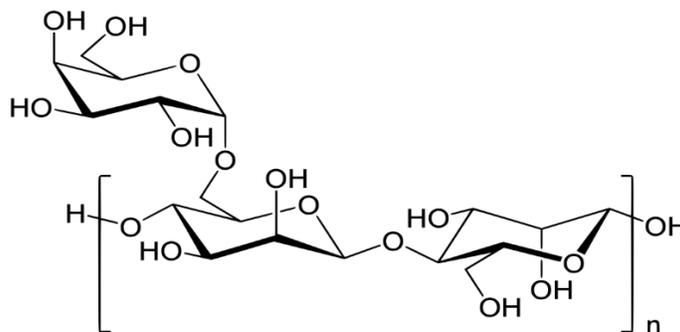


Figura 7. Estructura de la goma guar.

Fuente: Dziezak, 1991.

1.4.1. VISCOSIDAD

Según menciona Nussinovitch (2013), los hidrocoloides imparten viscosidad a los alimentos gracias al entrelazamiento no específico entre las cadenas de los polímeros. La viscosidad final obtenida depende del tipo de hidrocoloide utilizado, de su concentración, y del sistema alimentario en el que se utiliza; además el pH y la temperatura son parámetros importantes que hay que controlar. La viscosidad de una dispersión depende significativamente de la masa molecular del polímero en cuestión, además el tamaño hidrodinámico de las moléculas de un polímero en solución está influenciado significativamente por la estructura de esta misma. Las estructuras lineales rígidas tienen un mayor tamaño hidrodinámico que polímeros flexibles altamente ramificados de la misma masa molecular y, por lo tanto, dan lugar a una viscosidad mucho más alta.

Los sistemas acuosos conteniendo goma guar tienen altas viscosidades a muy bajas concentraciones. El nivel de uso recomendado es generalmente mucho menor que el 1%, puesto que a concentraciones mayores la viscosidad se vuelve excesiva para la mayor parte de las aplicaciones para una solución típica, si se dobla la concentración (Del 1 % al 2 %), se obtiene un incremento de diez veces en la viscosidad (4,100-44,000 cps) el cual seguirá captando agua hasta llegar a la saturación (Pasquel, 2001).

1.4.1.1. REACCIONES SALINAS Y EFECTO DEL pH EN LA GOMA GUAR

Se obtienen fuertes reacciones con soluciones de ciertos cationes inorgánicos; por ejemplo, la adición de sales de calcio a alta concentración, en general la goma reaccionará con cationes polivalentes como lo hace el anión sodio. La interacción con estas sales se da solo si éstas ya se encuentran disueltas en un medio acuoso, para posteriormente dar origen a la dispersión, un ejemplo de ello es la interacción que se da entre la fluoresceína sódica y la dispersión de goma guar, dicha interacción es posible debido a la capacidad de la goma de generar interacciones (Puentes de hidrógeno), así como la interacción entre la sal y los grupos hidroxilo. Sin embargo, hay diferencias de reacciones que terminan en la insolubilización, precipitación o formación de geles inestables (Glicksman, 1986).

1.4.2. APLICACIÓN DE GOMA POR EL MÉTODO DE INYECCIÓN.

La inyección es un proceso mecánico que consiste en perforar la carne con agujas que bombean el encurtido o marinado hacia ésta, este método puede ser aplicado de forma manual o sistematizada (Figura 8). El marinado se puede realizar sobre cualquier tipo de cárnico como: cerdo, res, pollo, pavo, cordero, etc. El efecto será más notorio cuanto más seco y duro sea el músculo inicialmente, por ejemplo, lomo de cerdo, pechugas de pollo o pavo y la mayoría de los músculos del cuarto trasero bovino para asados (Tapasco *et al.*, 2011). En la industria cárnica la inyección de gomas es una actividad sumamente recurrida ya que esta brinda algunas características como:

- Aumento de la retención de agua durante la cocción, incluso cuando se produce un exceso de cocción por falta de atención y por tanto más jugosidad, debido a la interacción mediante puentes de hidrógeno del biopolímero con el agua disponible alojada en el interior de la carne.
- Relajación de las fibras musculares dando lugar a un producto más tierno y más fácilmente masticable. Esto es debido a que cuando se inyecta con agujas, las fibras musculares se rompen por lo que el producto se vuelve más suave debido a la tenderización.

- Adición uniforme de biopolímero, sal y sabores específicos en toda la pieza. Mejora de la calidad de la carne (Lagares, 2004).

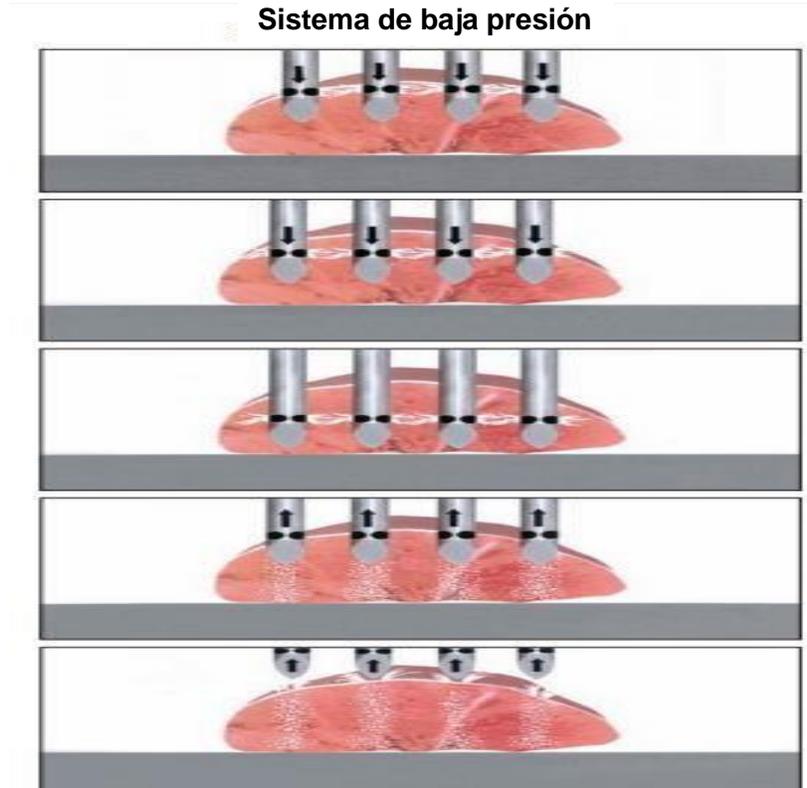


Figura 8. Proceso de inyección de carne

Fuente: Xargayó, 2016

Actualmente se han realizado estudios acerca de interacción de los biopolímeros con las salmueras utilizadas para la inyección en la carne, en la cual se busca incrementar la capacidad de retención de agua debido a algunas características en su estructura y la capacidad de interacción con las sales como se mencionó anteriormente.

Durante esta operación es de suma relevancia analizar algunas cuestiones muy importantes acerca de la estructura, ya que un mal control en esta podría repercutir en las características finales del producto, por lo que hay que recordar que la carne está compuesta por fibras miofibrilares las cuales funcionan como canales o ductos, por los cuales el biopolímero se distribuyen a lo largo de la carne, en donde comienza a darse la interacción a través de puentes de hidrogeno entre los grupos hidroxilo de la goma guar y el agua libre que se encuentra en la carne, dando como resultado cambios en la textura y jugosidad (Sheard *et al.*, 1999)

1.5. FLUORESCENCIA

Debido a su fácil manipulación y su alta polaridad con el agua, la fluoresceína sódica ($C_{20}H_{12}O_5$) se suele utilizar como material revelador usando la técnica de luz visible inducida (LVI) en diversos campos de la ciencia como la medicina, en la angiografía, la cual se refiere a inyección vía intramuscular utilizada para detectar anomalías vasculares ya que posee una gran afinidad con las proteínas encontradas en el plasma de la sangre lo que permite transportarla a través del torrente sanguíneo Beem y Segal, (2013); por otro lado en la hidrología por su alta capacidad de detección y baja absorción facilita el trazo de corrientes subterráneas, ayuda a averiguar las conexiones hidráulicas, medir el caudal hidráulico y la estanqueidad.

Cuando la fluoresceína sódica se estimula mediante luz UV (465 a 490 nm) muestra una fluorescencia amarillo - verdosa (520 a 530 nm) (Figura 9). La fluoresceína de por sí es una sal insoluble, se vuelve soluble en agua gracias a la sal sódica añadida en su composición (Sun *et al.*, 1997). Cabe destacar que este producto químico no es comestible, por lo que solo se utiliza para pruebas fisicoquímicas y en la medicina.



Figura 9. Efecto de la luz UV en la solución de fluoresceína-Agua

Fuente: (Skoog, 2001)

La luz visible, las ondas de radio, las microondas, la luz UV y los rayos X son distintas formas de radiación electromagnética. Todas estas formas de radiación transfieren energía desde una región del espacio a otra (Atkins y Jones, 2005). Se miden en longitudes de onda, las cuales son inversamente proporcionales a la energía producida por la radiación. La porción visible del espectro irradia entre los 400 y 700 nm y es la única radiación del espectro que puede ser vista por el ojo humano (Figura 10). La radiación UV, en tanto, va desde 10 a 400 nm, desde UV de vacío hasta casi el púrpura del espectro visible. La fracción UV del espectro puede ser dividida en cuatro regiones:

- UV de vacío, entre 10 y 180 nm. Esta radiación sólo puede estar presente en el vacío pues es rápidamente absorbida por el aire.
- UVC, conocida como UV de onda corta, entre 180 y 280 nm. UV de alta frecuencia.
- UVB, conocida como UV de onda media, entre 280 y 320 nm.
- UVA, conocida como UV de onda larga, entre 320 y 400 nm. Este tipo de lámpara es la más usada en conservación.

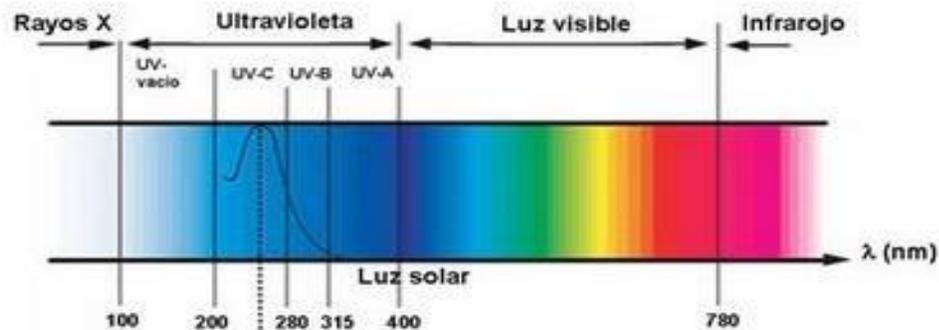


Figura 10. Espectro electromagnético

Fuente: (Espinoza y Rivas, 2010)

La fluorescencia es un proceso de emisión en el cual las moléculas son excitadas por la absorción de radiación electromagnética. Las especies excitadas se relajan al estado fundamental, liberando su exceso de energía en forma de fotones, la fluorescencia es la propiedad que tienen algunas sustancias de absorber energía y luego emitir parte de esa energía en forma de luz. Una de las características más atractivas de los métodos de fluorescencia es su sensibilidad inherente, la cual es con frecuencia, de uno a tres órdenes de magnitud mejor que las de la espectroscopía de absorción. No obstante, los métodos de fluorescencia se aplican mucho menos que los métodos de absorción debido al número relativamente limitado de sistemas químicos que se pueden hacer fluorecer (Grant, 2000).

1.5.1. FLUORESCENCIA VISIBLE INDUCIDA

Ciertos materiales son capaces de transformar la luz UV en una radiación visible de onda más larga, produciendo con esto una fluorescencia visible inducida por efecto de la radiación UV. Cuando la radiación es absorbida por el material, los electrones son puestos de forma temporal en un mayor estado de energía, luego esa energía es liberada volviendo los electrones a su estado normal. Es esta energía radiante liberada o fluorescencia, la que se logra apreciar en el

espectro visible dependiendo del material irradiado (Grant, 2000).

El fenómeno expuesto en el párrafo anterior se conoce como fluorescencia visible inducida por UV. Al volverse perceptibles las radiaciones producidas por la fluorescencia UV al ojo humano, y por ende a sistemas fotográficos, esta propiedad se ha transformado en una técnica de análisis físico que permite llegar a conocer aspectos técnicos de ejecución y constitución de materiales, como también las alteraciones que éste pudo haber sufrido (Alba y González, 2005).

La fluorescencia en el espectro visible puede tener distintos colores, dependiendo de la sustancia que está siendo excitada, estas diferencias de color e intensidad han sido exitosamente usadas en análisis no destructivos de minerales y pigmentos (Dorrel, 1994).

1.5.1.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA FLUORESCENCIA

La intensidad de fluorescencia es afectada por los siguientes factores:

Estructura:

La fluorescencia se presenta más comúnmente y en forma más intensa con compuestos que tienen grupos funcionales aromáticos con bajas energías de transición, es decir; que se necesita una pequeña o casi nula energía de activación para que se dé la reacción. Compuestos que tienen estructuras de carbonilos alifáticos y alicíclicos o de dobles enlaces conjugados con un alto grado de estabilidad de resonancia también pueden presentar fluorescencia, pero el número de estos es relativamente pequeño comparado con el número de sistemas aromáticos fluorescentes.

La sustitución de grupo funcional en el anillo de benceno cambia la longitud de onda de máxima absorción con un cambio correspondiente en la posición e intensidad de la línea de emisión de fluorescencia (Atkins y Jones, 2005).

Temperatura y naturaleza del solvente:

Según Skoog y Leary, (1994) el efecto de un aumento en la temperatura incrementa el número de choques moleculares, por lo que la desactivación tiende a efectuarse a través de procesos no radiactivos y por lo tanto se inhibe la fluorescencia, en el cuerpo humano este efecto se daría a causa de la aplicación cuando el paciente ha pasado por un aumento en su temperatura corporal hasta los 40°C. La viscosidad del solvente tiene efectos similares, a mayor viscosidad menor número de choques moleculares y mayor intensidad de fluorescencia. La polaridad del solvente también tiene influencia en la fluorescencia, debido al efecto hipocrómico y batocrómico que el solvente ejerce sobre el compuesto, es decir; estos efectos dependen de la acidez al que este expuesto el compuesto fluorescente causando un vire en el color final.

Efecto del pH:

Debido a las diferentes formas químicas que son posibles de existir a diferentes condiciones de pH, la intensidad de fluorescencia también es afectada por este factor. Ejemplo: el fenol y el ion fenolato tienen diferentes propiedades fluorescentes, por lo que si las condiciones son de pH básico la especie estará en el equilibrio químico en la forma del fenol y/o ion fenolato, afectando así la intensidad de fluorescencia (Skoog y Leary, 1994).

1.5.1.2. MEDICIÓN DEL ESPECTRO VISIBLE POR MEDIO DE LA COLORIMETRÍA

Al hacer uso de la fluoresceína sódica para algún fin, algunas veces es importante la realización de una medición empírica la cual nos permita tener una idea de la concentración de la misma, esto puede ser posible gracias al uso de la fotografía digital y el uso de la colorimetría. Psicológicamente podemos decir que el color es tridimensional, percibiéndolo distinguimos tres atributos:

-Tono o matiz (a^* y b^*)

Es el atributo de la sensación visual según la cual el estímulo aparece similar a uno de los colores percibidos: rojo, verde, amarillo, verde y azul o a ciertas proporciones de dos de ellos. Se define como la cualidad del color. Está relacionado con la longitud de onda dominante del espectro.

-Saturación

Considerando un color como la mezcla de luz blanca y una luz monocromática. Un color puro es saturado mientras que un color blanquecino o grisáceo es desaturado, de este modo tenemos colores intensos o pálidos.

-Luminosidad (L^*)

Se refiere a la cantidad de luz que se percibe. El gris es el color de los objetos que no presentan otro atributo que la claridad, en una escala que tiene como límites el blanco y el negro.

A los dos primeros se les denomina atributos cromáticos o cromaticidad. Basado en este hecho de la trivarianza visual se ha intentado representar a los colores en un espacio tridimensional cuyas coordenadas estén más o menos correlacionadas con estos atributos. La apreciación del color de un objeto depende, además del propio objeto (Tamaño y Forma), de la luz utilizada para iluminarlo, los ángulos de iluminación/visión, estructura y estímulos que le rodean, aparte del estado del sistema visual del observador y de su experiencia en situaciones de observación semejantes o relacionadas (Muñoz, 2008).

El color puede ser producido de varias formas:

1- Proceso de adición: Es el caso de la luz blanca que resulta cuando todos los colores del espectro visible se juntan. La luz blanca también se puede producir por la suma de 3 colores: rojo, azul y verde o por la combinación de un primario más su complementario.

2- Absorción selectiva. Cuando sobre un objeto no luminoso se dirige un rayo de luz blanca, parte de esta luz es reflejada, parte transmitida y parte absorbida y el color del objeto es el que percibe el ojo cuando le llega la luz reflejada o la luz transmitida, con su correspondiente distribución espectral.

Los espectrofotómetros y colorímetros determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada L^* , a^* , y b^* . El espacio de color $L^*a^*b^*$ fue modelado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo (Figura 11).

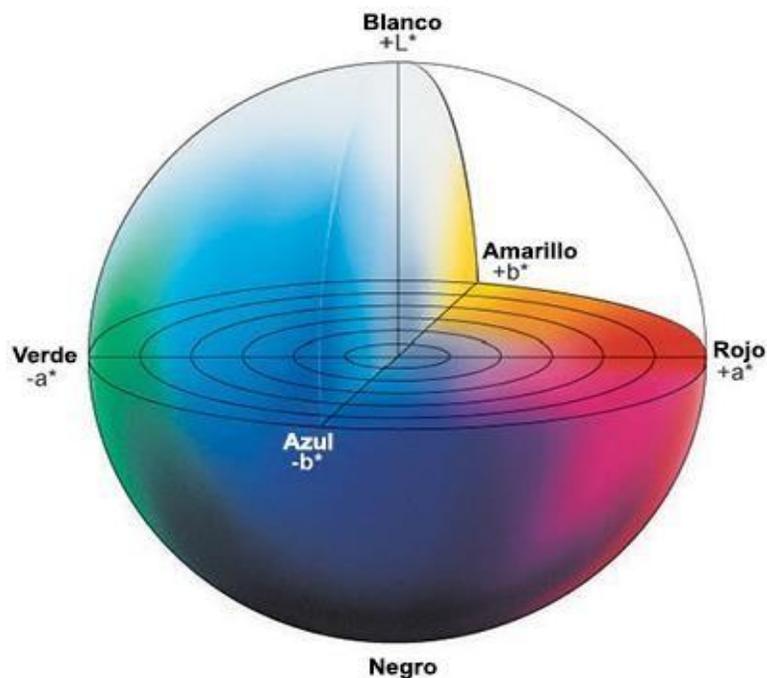


Figura 11. Espacio de color CIE $L^* a^* b^*$

Fuente: Konica Minolta®, 2014

El CIE $L^*a^*b^*$ (CIELAB) es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Fue desarrollado específicamente con este propósito por la *Commission Internationale d'Eclairage* (Comisión Internacional de Iluminación), razón por la cual se abrevia CIE.

1.6. CARNE

La carne es el resultado de la transformación del tejido muscular tras la matanza del animal de abasto gracias a ciertos procesos físicos-químicos bioquímicos. Estos cambios dan lugar a un producto con una serie de características sensoriales propias.

El *Codex Alimentarius* define la carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin”, donde sus componentes principales son agua, proteínas y aminoácidos, grasas, minerales, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos los cuales dependerá la proporción de ellos respecto del tipo de carne utilizada para su consumo.

1.6.1. EL AGUA

Cuantitativamente el agua representa el 76% de la carne roja, razón por la cual tiene influencia sobre la calidad de la carne afectando la jugosidad, consistencia, terneza, color y sabor. Por ser el medio universal de las reacciones biológicas, su presencia influye en los cambios que ocurren en la carne durante su almacenamiento y procesado (Kirby, 2003).

El contenido de humedad en la carne es importante principalmente en el tejido muscular; el tejido adiposo por su misma naturaleza no beneficia el incremento, por lo tanto, a mayor contenido de grasa de un corte menor contenido de humedad. Debido a la configuración de la molécula de agua, donde los átomos de hidrógeno están unidos al átomo de oxígeno formando un ángulo de 109°, la molécula de agua presenta un momento dipolo-dipolo habilitándola para interactuar con otras sustancias mediante fuerzas eléctricas. Esta carga eléctrica del agua le permite formar soluciones y coloides al asociarse con los grupos reactivos eléctricamente cargados de las proteínas. Algunos factores influyen el número de grupos reactivos de las proteínas y su habilidad para ligar agua, los de mayor influencia para las proteínas musculares son resultado de los cambios y transformaciones post-mortem relacionados con la producción de ácido láctico, pérdida del ATP y cambios en la estructura celular asociado con la actividad proteolítica de algunas enzimas presentes en el músculo como la desnaturalización y la formación de aminoácidos. Cuando el músculo está vivo presenta un pH de 7.0 a 7.2 mientras que cuando está muerto de 5.4 a 5.8, la molécula proteica tiene grupos reactivos cargados negativamente que fijan agua, formando posiblemente una capa de una molécula de espesor dispuesta alrededor de los grupos cargados y permanece fuertemente ligada aún durante la aplicación de fuerzas externas severas. El agua restante presente en el músculo está atrapada en los espacios debidos a la configuración geométrica de la estructura de las proteínas miofibrilares o

levemente unida por fuerzas de Van der Waals (Restrepo *et al.*, 2001).

1.6.2. ESTRUCTURA

La unidad estructural del músculo esquelético es una célula muy especial llamada fibra muscular, compuesta a la vez de miofibrillas, filamentos largos y finos extendiéndose a lo largo de la fibra muscular (Barbany, 2002), las proteínas miofibrilares constituyen del 55 al 60% del total de la proteína. Basadas en sus funciones fisiológicas dentro de este, las proteínas pueden clasificarse en proteínas contráctiles y reguladoras (Gutiérrez, 2003).

A continuación, se presenta la representación esquemática del músculo esquelético.



Figura 12. Representación esquemática del músculo esquelético.

Fuente: (Gutiérrez, 2003)

Proteínas contráctiles

La contracción de los músculos se hace a través de la miosina y actina, es la función de las proteínas contráctiles ya que facilitan el movimiento de las células constituyendo las miofibrillas que son responsables del espasmo de los músculos (Figura 13), una de las principales funciones de las proteínas es la función contráctil, la cual es la encargada de realizar el movimiento de los músculos.

Pasos de la contracción muscular:

- 1- Liberación de acetilcolina al espacio sináptico.
- 2- El neurotransmisor (acetilcolina) se une a los receptores de la placa motora.
- 3- La unión del neurotransmisor-receptor, genera el ingreso de iones Na^+ , principalmente.
- 4- Se desencadena un potencial de acción muscular que se conduce a lo largo de la membrana de la fibra muscular (sarcolema), y determina la liberación de calcio.

- 5- Liberación de calcio almacenado en el retículo sarcoplasmático.
- 6- El calcio liberado al citoplasma de la fibra muscular (sarcoplasma), produce el desplazamiento de los delgados filamentos de actina y la consecuente contracción muscular.
- 7- Bombas de transporte activo de calcio devuelven este ión desde el sarcoplasma al retículo sarcoplasmático, y se suspende la interacción entre actina y miosina.
- 8- El músculo se relaja.

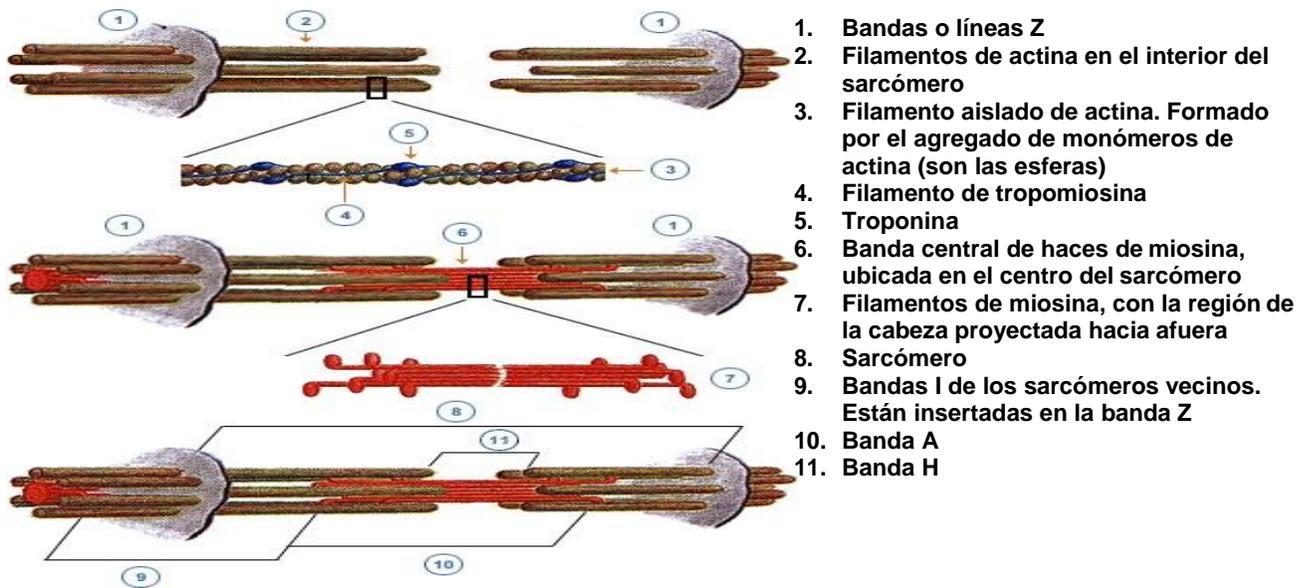


Figura 13. Proteínas contráctiles en el músculo.

Fuente: (Barbany, 2002)

Las proteínas que se encarga de la contracción de los músculos son las siguientes:

Actina

La actina es una familia de proteínas globulares que forman los microfilamentos, uno de los tres componentes fundamentales del citoesqueleto de las células de los organismos eucariotas (también denominados eucariontes). La actina se presenta en la célula en dos formas: como monómeros globulares denominados actina G y como polímeros filamentosos denominados actina F, es decir; filamentos compuestos de multitud de monómeros de actina G). La actina F puede denominarse también microfilamento. A cada hebra de actina se une una molécula de adenosín trifosfato (ATP) o de adenosín difosfato (ADP) a su vez asociada a un catión Mg^{2+} . De las distintas combinaciones posibles entre las formas de actina y el nucleótido trifosfato, en la célula predominan la actina G-ATP y la actina F-ADP

Miosina

Es la proteína más abundante del músculo esquelético. Representa entre el 60 y 70% de las proteínas totales y es el mayor constituyente de los filamentos gruesos. Un filamento de miosina mide alrededor de 10 nm de diámetro y unos 1.5 μm de longitud, está constituido por un fascículo de una veintena de moléculas, desplazadas la una con relación a la otra, unos 6nm, de tal forma que sus extremidades voluminosas forman proyecciones o “dedos” todos dispuestos en espiral, en torno del haz, estas proyecciones oscilantes son las que realizan la contracción del músculo ya que se enganchan en puntos activos de los filamentos de actina, tiran de ellos una cierta distancia (Unos 10 nm), los sueltan vuelven a su posición original, se enganchan en otro punto de filamento de actina; siendo así que la velocidad de contracción muscular implica proyecciones de hasta 100 tracciones por segundo (Cheftel, 1976)

Titina

Ésta es una de las proteínas más abundantes en los músculos de los vertebrados y esta evita que el sarcómero se rompa durante la contracción, es decir cuando se realiza el movimiento o estiramiento de los músculos. Cuando los extremos de los filamentos delgados de la actina no están en contacto con los puentes de los filamentos gruesos de la miosina, esto quiere decir que este se encuentra relajado, pero si la actina y los puentes de la miosina están en contacto se dice que el músculo está contraído.

Proteínas reguladoras

Estas cumplen un papel muy importante en el proceso de contracción-relajación, entre estas se encuentran:

Tropomiosina: Es una proteína aproximadamente con longitud de 40 nm, la cual se enrolla alrededor de la hélice de la actina. Cuando los músculos deben estar relajados, la tropomiosina cubre la parte activa de la actina para que así no pueda darse una interacción entre actina-miosina. Pero también facilita el contacto de la actina y la miosina, cuando se requiere la contracción muscular.

Troponina: Es una proteína globular que se encuentra sobre la molécula de actina. Tiene la capacidad de enlazar su molécula a algún ion de calcio, cuando se requiere una contracción. Compuestas de tres polímeros:

Troponina T: Es la que da la unión entre la tropomiosina y la troponina.

Troponina C: Es la encargada de la fijación del calcio en la contracción muscular. Troponina I: Inhibe el complejo formado por la unión de la actina y la miosina.

1.6.3. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

La capacidad de retención de agua es la habilidad que exhibe las proteínas para retener el agua que se encuentra en ella durante la aplicación de fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado y depende del tipo de proteína y su concentración, y de la presencia de carbohidratos, lípidos, y sales, al igual que del pH. Honikel, 1998 indica en el caso de la carne para procesamiento, como la capacidad que tiene para retener el agua tanto propia como añadida cuando se le somete a un tratamiento o fuerza exterior tal como corte, centrifugación o gravedad. La capacidad de las proteínas para inmovilizar agua es por sí misma, una de las propiedades más importantes en la mayoría de las aplicaciones alimenticias. La naturaleza de las interacciones proteína-agua y proteína-proteína es críticamente importante para saber si una proteína funcionará en un sistema alimenticio como una dispersión coloidal o como un precipitado insoluble. El estudio de la capacidad de retención de agua no solo brinda información sobre esta propiedad, sino que también indica alteraciones en las proteínas musculares, así como también son un indicador muy sensible a los cambios en la carga y estructura de las proteínas miofibrilares. Se considera que la miosina y la actina, y en menor proporción la tropomiosina son las principales responsables de la C.R.A de la carne Chow y Morr (1979).

El agua presente en la carne puede considerarse agregada en formas diferentes, de acuerdo con la fortaleza con que se encuentre unida al músculo. Según esta consideración, del 4 al 5% del agua total se halla unida directamente a los grupos hidrófilos de las proteínas miofibrilares. Este tipo de unión química es fuerte, de tal manera que el agua perteneciente a este grupo sufre muy poca alteración de tipo físico o químico al producirse algún cambio en la carne, aún de la modificación de la capacidad de retención de agua de la misma, por cambios en la carga eléctrica de la proteína. Un segundo tipo comprende el agua que está presente en el músculo, atrapada debido a la configuración geométrica de las proteínas miofibrilares, sin estar unida a ellas, la cual se conoce como agua inmovilizada. La tercera forma es la llamada agua libre o suelta, que resulta expulsada al comprimir levemente el músculo, y en cuya unión participan escasamente fuerzas de Wan der Walls.

Huidobro y Tejada (1998) afirman que las proteínas en las fibras musculares hinchadas y la miosina tienen una gran habilidad de retener agua porque, los sitios reactivos de las proteínas están expuestos al solvente, en lugar de ser usados para las interacciones proteína-proteína. En general,

se considera que el 70% del contenido de agua está ubicado en los espacios existentes entre los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla. Del resto, el 20% se encuentra en el sarcoplasma y el 10% en el tejido conectivo y espacios extracelulares. Pearson (1994) indica que una configuración expandida de las proteínas permite disponer de un mayor espacio miofibrilar en el cual el agua puede ser atrapada. Esta condición favorable para la retención de agua es lograda cuando las proteínas tienen un exceso de cargas positivas o negativas. La temperatura es otro factor importante en todas las clases de reacciones, incluyendo las interacciones proteína-agua. Al mismo valor de actividad de agua (A_w), la proteína usualmente capta menos agua a alta temperatura que a baja, sin embargo, con los cambios de temperatura la conformación de la proteína puede alterarse.

1.6.4. AFECTACIÓN DE LA C.R.A. POR TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LA CARNE.

CALOR

En los tratamientos térmicos (Temperaturas hasta 100°C o ligeramente superiores) se rompen uniones de baja energía, como puentes hidrógeno y se refuerzan las interacciones hidrofóbicas. El desdoblamiento de una proteína nativa con los grupos hidrofóbicos en el interior provoca la exposición de éstos al medio. Si hay interacciones hidrofóbicas proteína-proteína, lo que puede ocurrir si el grado de desdoblamiento es elevado, se produce agregación, que puede ocasionar una disminución de la solubilidad y la precipitación de la proteína (Lupano, 2013)

FRÍO

Refrigeración

El frío refuerza las uniones puente hidrógeno y debilita las hidrofóbicas, esto puede provocar una desnaturalización, que en el caso de proteínas con estructura cuaternaria puede deberse a la disociación o reagrupación de sus subunidades.

Congelación

La congelación parcial aumenta la fuerza iónica de la fase líquida, y puede provocar variaciones de pH si la solubilidad de las especies protonada y no protonada de los ácidos débiles varía en forma diferente al cambiar las condiciones del medio. Todo esto puede traer como consecuencia la desnaturalización de proteínas con las consiguientes variaciones de digestibilidad, y cambios en las propiedades funcionales.

PH Y PRESENCIA DE SALES

La mayoría de las proteínas precipitan a su pH isoelectrico, ya que al tener carga neta cero las proteínas no se repelen entre sí. Esta precipitación es reversible en general, salvo en algunos casos como la caseína. En este caso se forma un coágulo ácido, desestabilizándose la estructura y perdiendo minerales. A pH alcalino se pueden fijar a las proteínas cationes metálicos: la fijación de Na⁺ aumenta la solubilidad de las proteínas, mientras que la fijación de Ca⁺⁺ la disminuye por formación de puentes salinos. Frecuentemente los proteínatos de calcio gelifican en caliente. La eliminación del Ca⁺ por un complejante como el ácido cítrico o las polifosfatos puede provocar la resolubilización de la proteína (Miller, 2010).

-Propiedades funcionales

- Modificaciones en la solubilidad.
- Variación en la capacidad de retención de agua (puede haber producción de exudado).
- Variación de las propiedades emulsificantes y espumantes.
- Gelificación.
- Modificaciones de color (mioglobina).
- Mejora de la apetencia y la textura.

-Los tratamientos severos modifican la estructura primaria de las proteínas.

- Hidrólisis.
- Isomerización.
- Destrucción de aminoácidos.
- Formación de derivados nuevos.
- Formación de puentes covalentes intra e intermoleculares.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar un hidrogel de goma guar por inyección en cortes de carne de cerdo para evaluar el efecto de la descongelación asistida por ultrasonido sobre la capacidad de retención de agua (C.R.A).

2.1.1. OBJETIVOS PARTICULARES

OBJETIVO PARTICULAR 1

Evaluar el efecto del ángulo de incidencia de luz UV sobre cortes de lomo de cerdo inyectadas con biopolímero - fluoresceína mediante el método de Luz visible inducida (LVI) a través de un cambio en los valores (L^* , b^*) respecto al ángulo de incidencia para indicar la distribución de la goma en la carne al ser inyectada.

V.I Ángulo de incidencia.

V.D Intensidad de color L^* y b^* .

V.R Distribución en la carne y concentración de biopolímero (bp).

N.V Ángulos: 0,10,20,30°

U.E Cortes de lomo de cerdo.

Rélicas 3.

OBJETIVO PARTICULAR 2

Efecto de la goma guar en la descongelación asistido por ultrasonido para evaluar el cambio en el tiempo de operación y la modificación en la C.R.A en cortes de lomo de cerdo.

V.I Muestras sonicadas con y sin biopolímero.

V.D Tiempo de descongelación.

V.R C.R.A.

N.V 25 kHz, Potencia 50%.

U.E Cortes de lomo de cerdo.

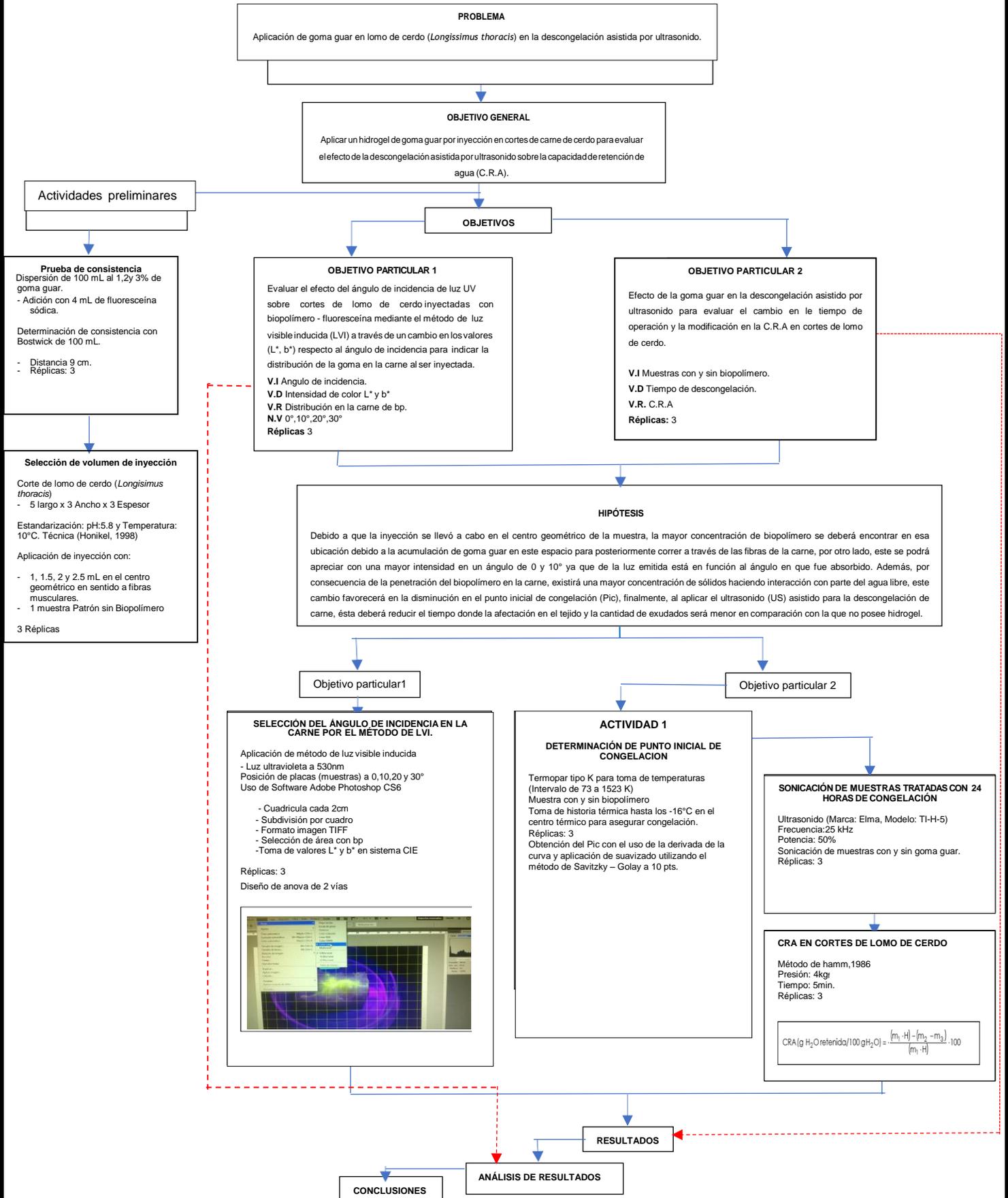
Rélicas 3

2.1.2. HIPÓTESIS

Tras la aplicación de la inyección en el centro geométrico de la muestra, la mayor concentración de biopolímero se deberá encontrar en esa ubicación por la acumulación de goma guar en este espacio para posteriormente correr a través de las fibras de la carne, por otro lado, este se podrá apreciar con una mayor intensidad en un ángulo de 0 y 10° ya

que de la luz emitida está en función al ángulo en que fue absorbido. Además, por consecuencia de la penetración del biopolímero en la carne, existirá una mayor concentración de sólidos haciendo interacción con parte del agua libre, este cambio favorecerá en la disminución en el punto inicial de congelación (Pic), finalmente, al aplicar el ultrasonido (US) asistido para la descongelación de carne, ésta deberá reducir el tiempo donde la afectación en el tejido y la cantidad de exudados será menor en comparación con la que no posee hidrogel.

Cuadro metodológico



2.2. ACTIVIDADES PRELIMINARES

PRUEBA DE CONSISTENCIA DE LA DISPERSIÓN GOMA GUAR – FLUORESCÉINA SÓDICA

Se realizaron 3 dispersiones de 100 mL de goma guar al 1, 2 y 3% respectivamente, adicionado con 4 mL de fluoresceína sódica. Se determinó la consistencia de las muestras con el equipo Bostwick de 100 mL (AOAC, 2005), estableciendo una distancia de 9 cm y se realizaron 3 réplicas de la operación.

SELECCIÓN DE VOLUMEN DE INYECCIÓN

La pieza de cerdo a utilizar fue lomo de cerdo (*Longissimus thoracis*) debido a que ésta contiene una menor cantidad de grasa, la cual se cortó en el sentido de las fibras musculares. Las muestras fueron placas de 5cm largo, 3cm Ancho y 3 cm de Espesor, con un peso entre 42.5 ± 2.5 g. Se llevó control del pH y temperatura (5.8 y 10°C respectivamente) al momento de la recepción de la carne con el uso de un potenciómetro digital (Hanna) usando la técnica descrita por (Honikel, 1998a) con el objetivo de estandarizar las pruebas. Posteriormente se aplicó la inyección a cada una de las placas con 1, 1.5, 2 y 2.5 mL de hidrogel de goma guar con fluoresceína sódica al 1% respectivamente (Figura 14), a 23 °C en el centro geométrico de la muestra, esto se efectuó en dirección paralela a las fibras musculares y la muestra restante se utilizó muestra patrón, de este procedimiento se realizaron 3 réplicas (Figura 15).

Se colocaron sobre toallas absorbentes para determinar la cantidad de biopolímero expulsado para cada concentración por un tiempo de 40 min; posteriormente seleccionando el volumen de inyección en el cual se haya tenido una menor cantidad de expulsión de hidrogel captado en las toallas absorbentes (Honikel, 1998b).

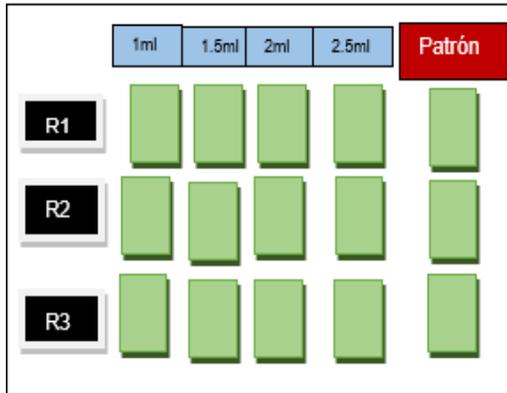


Figura 14. Inyección de biopolímero para prueba de exudados.

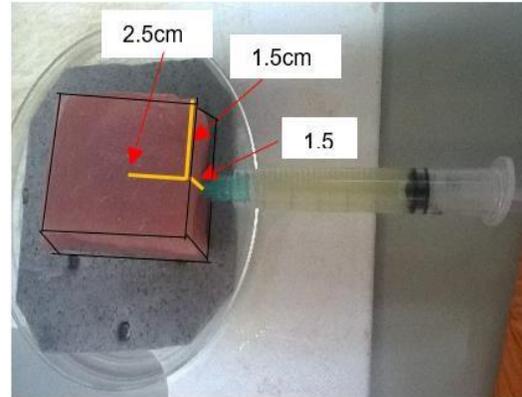


Figura 15. Forma de inyección del biopolímero.

2.3. OBJETIVO PARTICULAR 1

SELECCIÓN DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA EN LA CARNE POR EL MÉTODO DE LVI

Se realizó una serie de pruebas por el método de luz visible inducida LVI de acuerdo con (Grant 2000) referentes al ángulo de posición de los cortes de lomo, las cuales fueron a 0, 10, 20 y 30° en la cual se utilizaron placas de vidrio colocadas a estos ángulos con el fin de observar la incorporación del hidrogel en la carne (Figura 16). Posteriormente se realizaron las tomas fotográficas (12 mpx) para cada ángulo de las muestras expuestas a luz UV, y con el software Photoshop CS6 (Cuadrícula cada 2cm, una subdivisión por cuadro, Formato de imagen: TIFF), se seleccionó el área de la carne a la cual se le haría el estudio dividiendo esta área en 8 zonas para posteriormente tomar con el mismo software los valores de L^* y b^* en sistema CIE de cada una de ellas (Figura 17).

Para su análisis fue necesario el uso de ANOVA de 2 vías, también conocido como análisis de varianza es el método más exacto para calcular la variabilidad de un sistema de medición porque posee la ventaja de cuantificar la variación debida a la interacción entre los operadores y las partes.

Este método está basado en la misma técnica estadística utilizada para analizar los efectos de los diferentes factores en el diseño de experimentos (Botero et al., 2007)

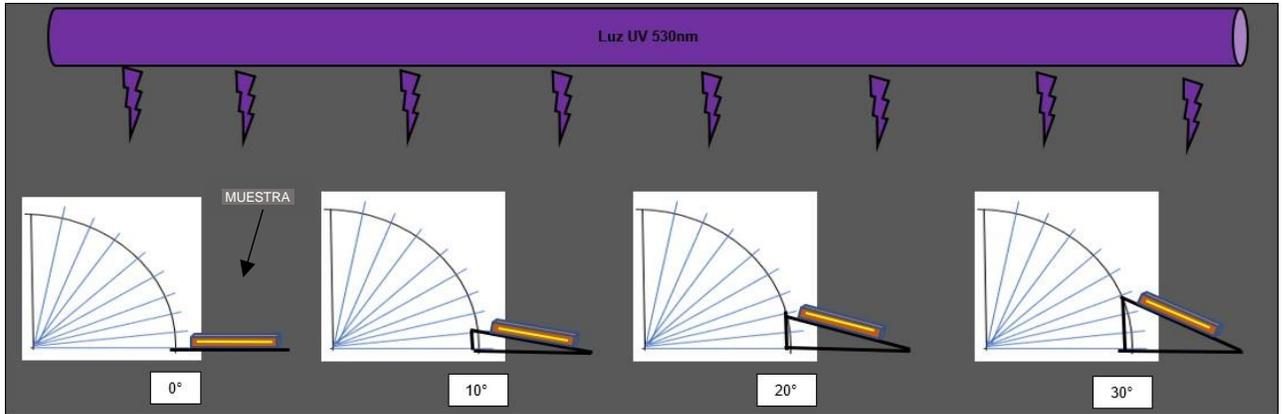


Figura 16. Representación de la técnica LVI.

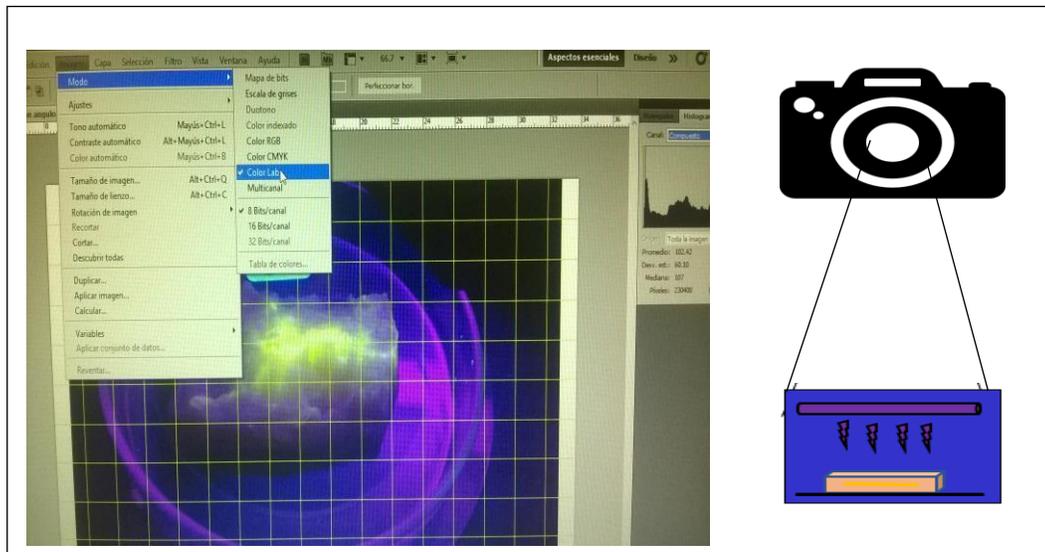


Figura 17. Tratamiento de imagen para toma de parámetros de color en Photoshop.

2.4. OBJETIVO PARTICULAR 2.

DETERMINACION DE PUNTO INICIAL DE CONGELACIÓN

Se aseguró que la cámara de congelación se encontrara en condiciones de temperatura de $-26 \pm 2^\circ\text{C}$, posteriormente se colocaron 6 muestras sobre una rejilla de metal en la cámara de congelación (3 con biopolímero / fluoresceína, 3 sin biopolímero), se colocaron para cada muestra un termopar tipo k y posteriormente se comenzó a registrar la temperatura de estas hasta llegar a -16°C , se realizaron las historias térmicas Temperatura vs Tiempo para determinar la disminución en el punto inicial de congelación debido a la presencia de la goma guar en el sistema y su capacidad secuestrante de agua libre, posteriormente se analizó el comportamiento en su cinética de congelación a

través de la derivada de la curva asistido con el uso del software Origin Pro 8 mediante el método de savitzky-Golay.

SONICACIÓN DE MUESTRAS TRATADAS CON 24 HORAS DE CONGELACIÓN

Sonicación

Se colocaron las muestras con termopares dentro del baño de ultrasonido (Marca: Elma, Modelo:TI-H-5), posteriormente se sonicaron a una frecuencia de 25 kHz y una potencia del 50%, se les realizó un registro de temperatura con el programa Lab View generando una historia térmica desde que éstas se encontraban congeladas hasta que llegaron a una temperatura de 10 °C, con el objetivo determinar la cinética de descongelación cuando un biopolímero se encuentra en el seno de la carne, evaluando este cambio a través de la diferencia en la pendiente del gráfico como resultado del inicio de la descongelación. Se realizó la misma prueba con 3 lomos diferentes para dar confiabilidad estadística de los resultados experimentales.

C.R.A. EN CORTES DE LOMO DE CERDO

Se determino la C.R.A. a través del método de compresión. La muestra se colocó entre dos papeles de filtro de 15 x 10 cm, posteriormente se ubicó entre las dos placas metálicas sobre las que se aplicó una presión de 4 kgf durante 5 min (Figura 18). Transcurrido este tiempo, se retiró la pesa y se separó la muestra del papel, procurando eliminar cualquier resto de tejido que pudiera quedar adherido, posteriormente se tomó el peso de los papeles después de la prueba. A partir estos datos y del valor de humedad del alimento se calculó la C.R.A. de la muestra empleando la ecuación 2. El valor obtenido se expresa como g de agua retenida por 100 g de agua en la muestra. Se realizaron las pruebas con 3 lomos diferentes para dar confiabilidad estadística de los resultados experimentales. Se tomó una muestra con y sin biopolímero por lomo, para carne fresca y descongelada por ultrasonido.

Cabe destacar que el valor de humedad de la carne fresca se determinó utilizando el método oficial de (AOAC, 2005)

Ecuación 2. Capacidad de retención de agua (Hamm, 1986).

$$\text{CRA (g H}_2\text{O retenida/100 g H}_2\text{O)} = \frac{(m_1 \cdot H) - (m_2 - m_3)}{(m_1 \cdot H)} \cdot 100$$

Ec. (2)

Donde:

m_1 = Masa de la muestra (g).

m_2 = Masa del papel de filtro húmedo (g).

m_3 = masa del papel de filtro seco (g).

H = Contenido en humedad de la muestra (g de H₂O /g de muestra)

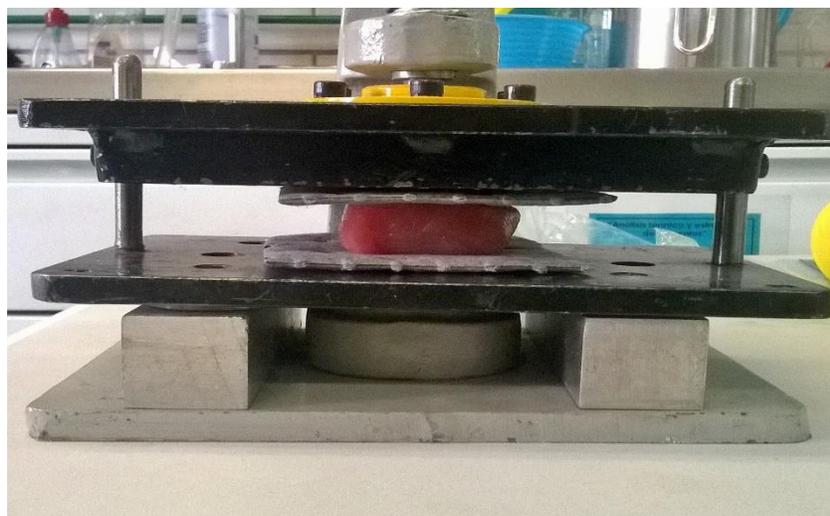


Figura 18. Técnica de 2 placas para la determinación de la capacidad de retención de agua.

Para la comparación entre los resultados de la capacidad de retención de agua entre la carne fresca y descongelada con y sin goma guar se deberá obtener de media estadística de las repeticiones de cada una de ellas con el fin de poder expresar los valores resultantes en un gráfico el cual permita interpretar la interacción entre el agua y la carne después de ser expuesta a un tratamiento.

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS

3.1 ACTIVIDADES PRELIMINARES

CONSISTENCIA

La concentración de un biopolímero es uno de los parámetros que brindan en una dispersión propiedades como la consistencia debido la capacidad que posee de hacer enlaces iónicos con el agua debido a la exposición de sus grupos hidroxilo, generando así una resistencia a fluir el cual puede ser beneficioso al ser aplicado en la industria alimenticia como estabilizantes y en la C.R.A. En la Tabla 3 se muestran los resultados experimentales correspondientes a la prueba de consistencia para la dispersión de goma Guar a concentraciones de 1, 2 y 3% con fluoresceína sódica.

Tabla 3. Resultados de consistencia a diferentes concentraciones.

3%	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Consistencia Bostwick (cm/min)
media	142.4	0.0006	3.6
S	1.51	0.0000066	16.62
CV	0.01	0.01	0.01
2%	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Consistencia
media	15.6	0.0058	34.8
S	0.6	0.0002	6.50
CV	0.03	0.03	0.03
1%	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Consistencia
media	0.7	0.12	720
S	0.08	0.01	1.15
CV	0.11	0.11	0.13

Para la elección de la concentración de biopolímero usado, se realizó la prueba de consistencia en la cual a una concentración del 1% los valores para este se encontraban en un promedio de valor de consistencia de 720, al 2% de 34.8, mientras que para la concentración de 3% tomo un valor promedio de consistencia de 3.6. Con base a lo mencionado por (Davison, 1980) acerca del manejo de concentraciones bajas de goma guar para uso en alimentos y a los resultados obtenidos experimentalmente de consistencia, se llega a conclusión que el utilizar una concentración al 1 % disminuye la energía necesaria

para realizar el método de inyección en la carne, por lo que cumple con las condiciones requeridas para ser aplicado para la inyección de goma guar en la carne, ya que si se utiliza el biopolímero a una concentración mayor, este aumenta su viscosidad más de 10 veces, además que la saturación de enlaces para hacer con el agua disponible se hace más difícil, por lo que la operación se complica y no beneficia para los fines experimentales.

SELECCIÓN DE VOLUMEN DE INYECCIÓN

La selección de volumen de inyección experimentalmente es de gran importancia, ya que a partir de este dato las características físicas finales también cambiarán en beneficio o en contra de los resultados que se desean obtener, como es el cambio en la C.R.A. al ser sometido a operaciones como congelación y ultrasonido. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al aplicar biopolímero a diferentes concentraciones en la carne.

Tabla 4. Porcentaje de biopolímero expulsado.

(X) mL de exudado en muestra patrón	Volumen de inyección (mL)	Mezcla exudada (mL)	mL de bp. expulsado	(Porcentaje de bp. expulsado)	mL reales dentro de la carne
0.038	1	0.37	0.33	33.2	0.67
	1.5	0.57	0.53	35.68	0.94
	2	0.78	0.74	37.26	1.26
	2.5	1.88	1.84	73.92	0.7

Como se observa en la Tabla 4, la capacidad que tiene la estructura de la carne para retener el agua así como para la formación de enlaces se mantiene constante cuando se le inyectan hasta 2 mL de biopolímero, después de ello esta estructura le es imposible retener un mayor volumen de dispersión y comienza a salir a través de los canales de las fibras musculares hacia el exterior de la matriz, esto sucede a partir de los 2.5 mL inyectados en una muestra estandarizada de 42.5 ± 2.5 g. Es por esta razón que se eligió utilizar como medida estándar para la experimentación, la cantidad de 2 mL con el fin de no dañar las fibras que conforman la estructura de la carne.

3.2. OBJETIVO PARTICULAR 1

SELECCIÓN DE ÁNGULO DE INCIDENCIA

En la Figura 19 se muestra el posicionamiento de los cortes de lomo de cerdo respecto a los diferentes ángulos de incidencia en las cuales se tomaron los parámetros de color L^* y b^* con el fin de analizar si el ángulo de incidencia afectaba en los parámetros de color y de cantidad percibida penetrada de biopolímero.

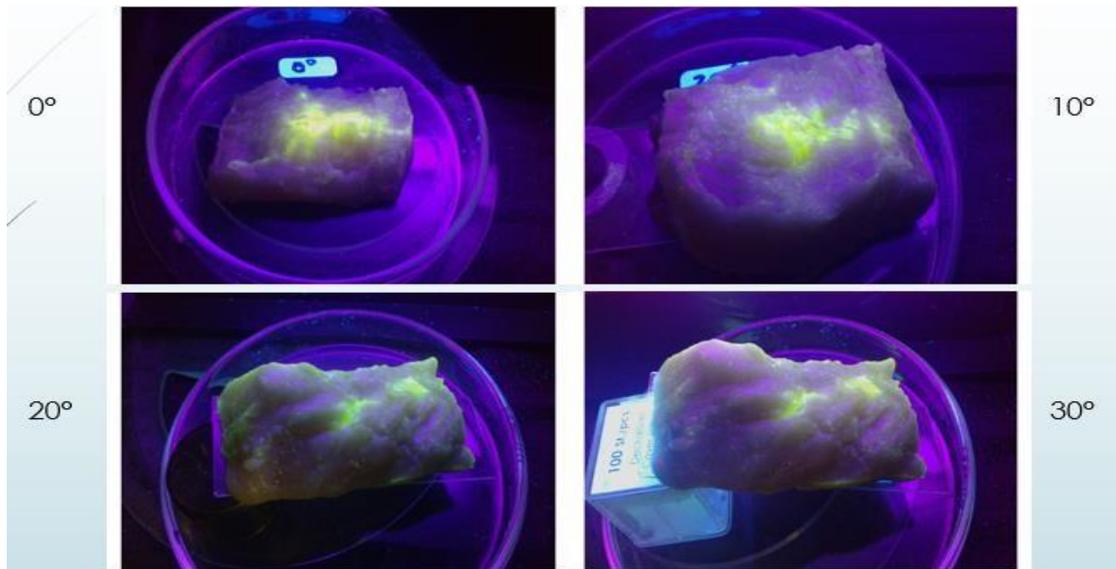


Figura 19. Fluorescencia respecto a ángulo de incidencia.

Se realizaron ANOVA de 2 vías para el tratamiento estadísticos de los valores de L^* y b^* respecto a la zona seleccionada y el ángulo de posicionamiento (Figura 21 y 24), posteriormente los valores obtenidos se colocaron en graficas radiales para obtener una mejor interpretación del comportamiento.

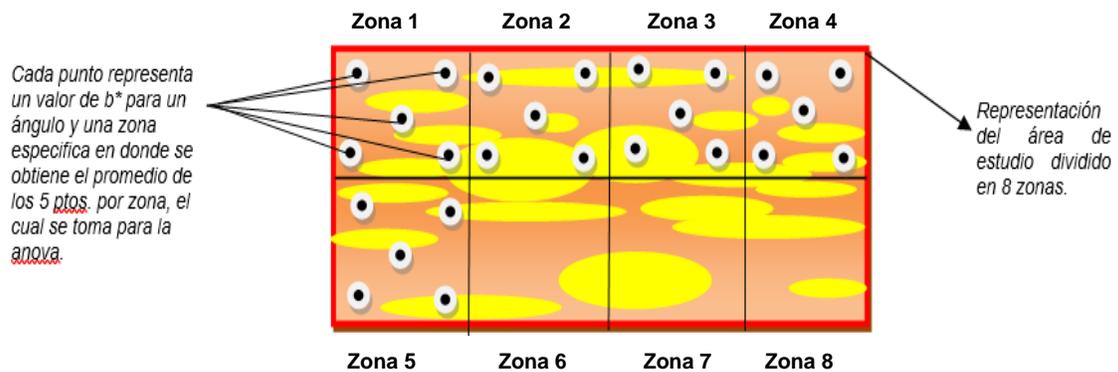


Figura 20. Representación de toma de datos para la obtención de b^* utilizada para la realización de la anova

Los resultados experimentales se muestran a continuación:

Tratamiento experimental de 2 vías para los valores de color b^* respecto a la zona y el ángulo de incidencia.

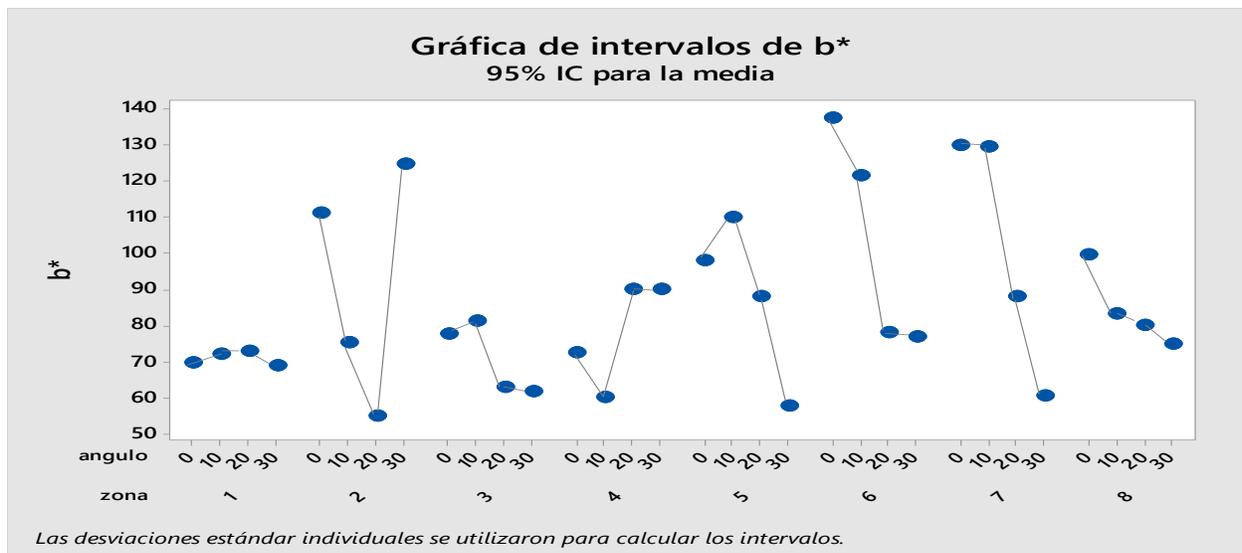


Figura 21. Tratamiento estadístico de los valores de b^* respecto a la zona y ángulo de posicionamiento.

Cada uno de los puntos representados en la figura anterior muestran el promedio de los valores obtenidos a través de la prueba de colorimetría para el parámetro b^* especificado en un ángulo y una zona, en donde los puntos mas bajos indican la ausencia o la baja concentración de biopolímero en el sistema, mientras que por otro lado si los puntos se acercan a un valor de 140 el color amarillo predominara en la zona y ángulo que se está estudiando lo que significa que la concentración de Bp es mayor.

Analizando la gráfica anterior podemos decir que el efecto de la luz ultravioleta sobre la fluoresceína sódica inyectada en la carne de cerdo nos indica que en zonas 2,5,6 y 7 la concentración de biopolímero dentro del sistema es mayor que en el resto de este, esto nos muestra la manera en cómo se difunde a través de la carne después de ser inyectada en el centro geométrico.

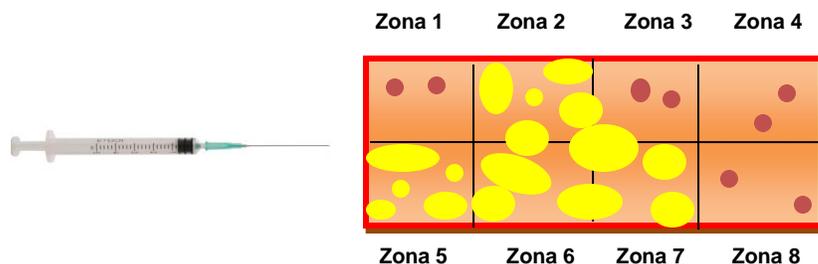


Figura 22. Concentración de biopolímero dentro del área inyectada de acuerdo a los resultados de la Anova.

Para comprender de mejor manera los resultados de este estudio los valores obtenidos se llevaron a una grafica radial en donde es posible interpretar la distribución dentro el sistema.

En la Figura 23 se muestra en primera instancia la distribución de la goma guar en el corte de cerdo, teniendo en cuenta que la suma de las 8 zonas se consideraría el área de la placa inyectada.

Por otro lado, se muestra la concentración del gel con respecto a la zona y al ángulo al que fue sometido.

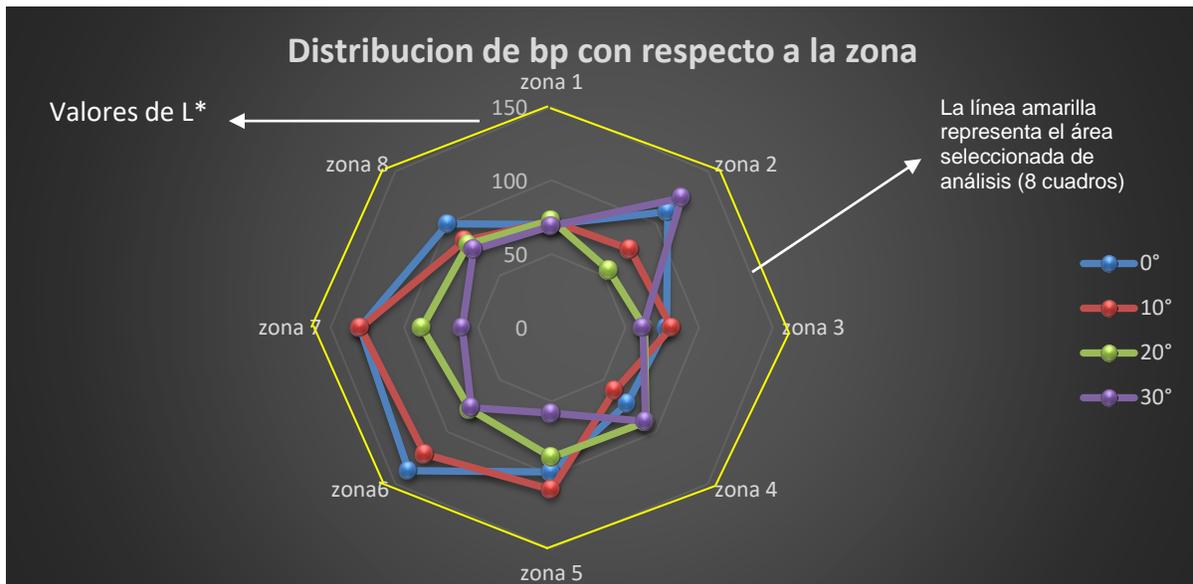


Figura 23. Simulación de distribución de biopolímero en la carne y su relación con el ángulo de incidencia de luz UV sobre los valores de color b^* .

Los resultados obtenidos para los valores de b^* con respecto a los diferentes ángulos de incidencia muestran principalmente la distribución de biopolímero dentro del área seleccionada la cual representa los 8 cuadros, para su análisis se colocaron los resultados del grafico de intervalos en un radial para observar de mejor manera la distribución hacia cada una de las zonas con respecto a un ángulo específico y b^* , es decir; que mientras más zonas abarque el color que representa cada ángulo en el gráfico y que estos tengan un valor de b^* más alto se podría considerar como la posición en la que se aprecia la verdadera distribución de goma guar a través de los tejidos de la carne, por ejemplo para el ángulo de 0° se toman los valores de cada una de las zonas 70,111,78,72,98,137,130 y 99 los cuales generan puntos en el grafico radial y dan origen a la apreciación de distribución, en este caso las líneas de color azul. De tal manera, se concluye que a un ángulo de 0° los valores

del parámetro de color b^* (amarillo) son más intensos y conforme el ángulo se va incrementado los valores de estos van decreciendo en la mayoría de las zonas y en algunos otros se mantiene prácticamente igual como en el caso de las zonas 1 y 3.

Por lo que se llega a la conclusión que el ángulo de incidencia afecta esencialmente cuando existe un cambio en la concentración con respecto a la zona y no solo al ángulo al que sea expuesta la muestra.

Tratamiento estadístico experimental de 2 vías para los valores de luminosidad L^* respecto a la zona y el ángulo de incidencia.

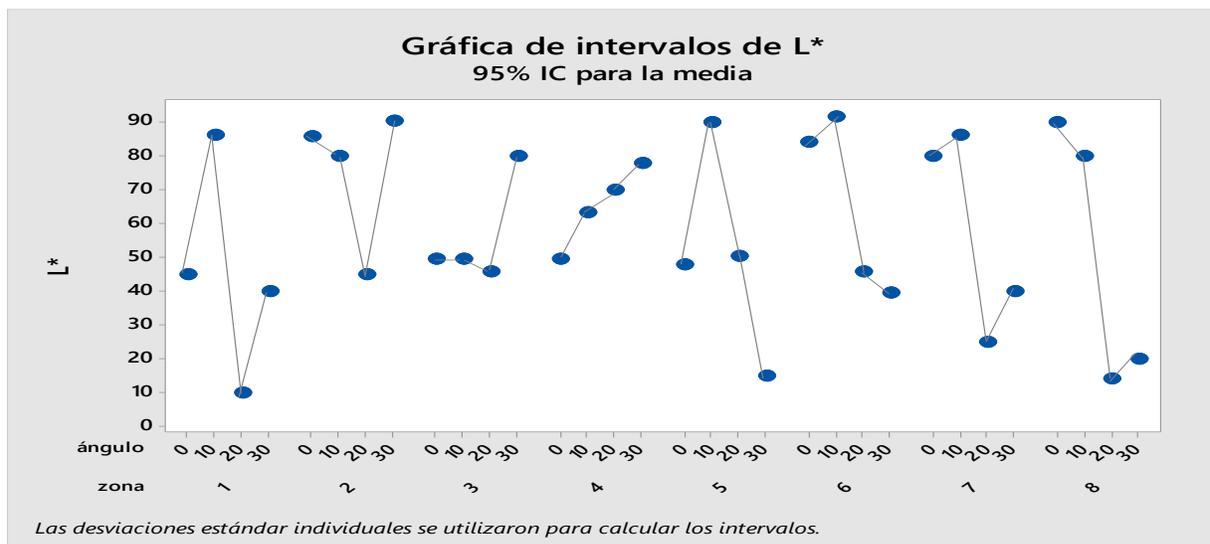


Figura 24. Tratamiento estadístico de los valores de L^* respecto a la zona y ángulo de incidencia.

Cada uno de los puntos representados en la figura anterior muestran el promedio de los valores obtenidos a través de la prueba de colorimetría para el parámetro L^* especificado en un ángulo y una zona, en donde los puntos más bajos indican la ausencia o la baja luminosidad generada por la incidencia de la luz sobre la solución de goma con fluoresceína sódica en el sistema, mientras que por otro lado si los puntos se acercan a un valor de 100 en la zona y ángulo que se está estudiando lo que significa que la concentración de Bp es mayor. Para comprender de mejor manera los resultados de este estudio los valores obtenidos se llevaron a una gráfica radial en donde es posible interpretar la distribución dentro el sistema.

En la Figura 25 se muestra en primera instancia la distribución de la goma guar en el corte de cerdo, teniendo en cuenta que la suma de las 8 zonas se consideraría el área de la placa inyectada. Por otro lado, se muestra la concentración de biopolímero con respecto a la zona y al ángulo al que fue sometido.

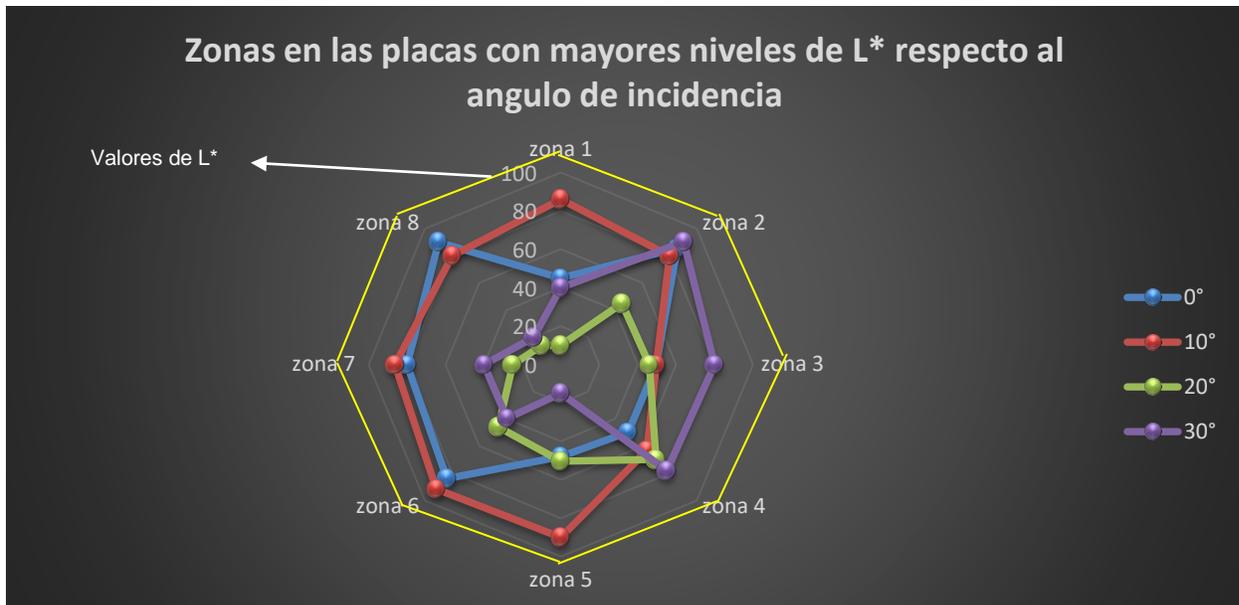


Figura 25. Representación gráfica de distribución de bp. en la carne y su relación con el ángulo de incidencia de luz UV sobre los valores de luminosidad (L^*).

Se puede observar en la Figura 25 una diferencia en cuanto al valor de luminosidad, siendo mayor en los ángulos de 0 y 10° para al menos 6 de las 8 zonas estudiadas, seleccionando así el ángulo de 0° como la mejor posición para realizar el estudio ya que existe una mayor homogeneidad en cuanto a los valores de b^* y mayor intensidad luminosa, estas características son atribuidas principalmente a la concentración de biopolímero y la forma en que la luz penetra sobre la muestra, por lo que se infiere que existe una relación entre la concentración y la luminosidad con respecto a la incidencia de la luz UV.

3.3. OBJETIVO PARTICULAR 2

Actividad 1 Punto inicial de congelación (Pic)

Durante la operación de congelación aplicada en alimentos, esta tiende a sufrir cambios importantes en su estructura asociado principalmente por la reacción de los componentes ante cambios de temperaturas, en el caso de la carne de cerdo, al poseer una composición compleja el tipo de congelación es la denominada heterogénea, en donde las moléculas de agua se aglomeran sobre un agente nucleador en el cual este va creciendo dentro del seno de la carne dando origen a lo que denominamos cristal, a medida que avanza la operación este cristal ocupara cada vez un espacio más grande generando un cambio en la presión intracelular causando así la ruptura de las fibras musculares, en donde el grado de afectación dependerá del número de núcleos formados y de la velocidad de la operación.

En la Figura 26 nos muestra las diferencias entre dos muestras en la cual una de ellas se mantuvo sin modificación alguna y la otra pretratada a través de la inyección de Goma Guar.

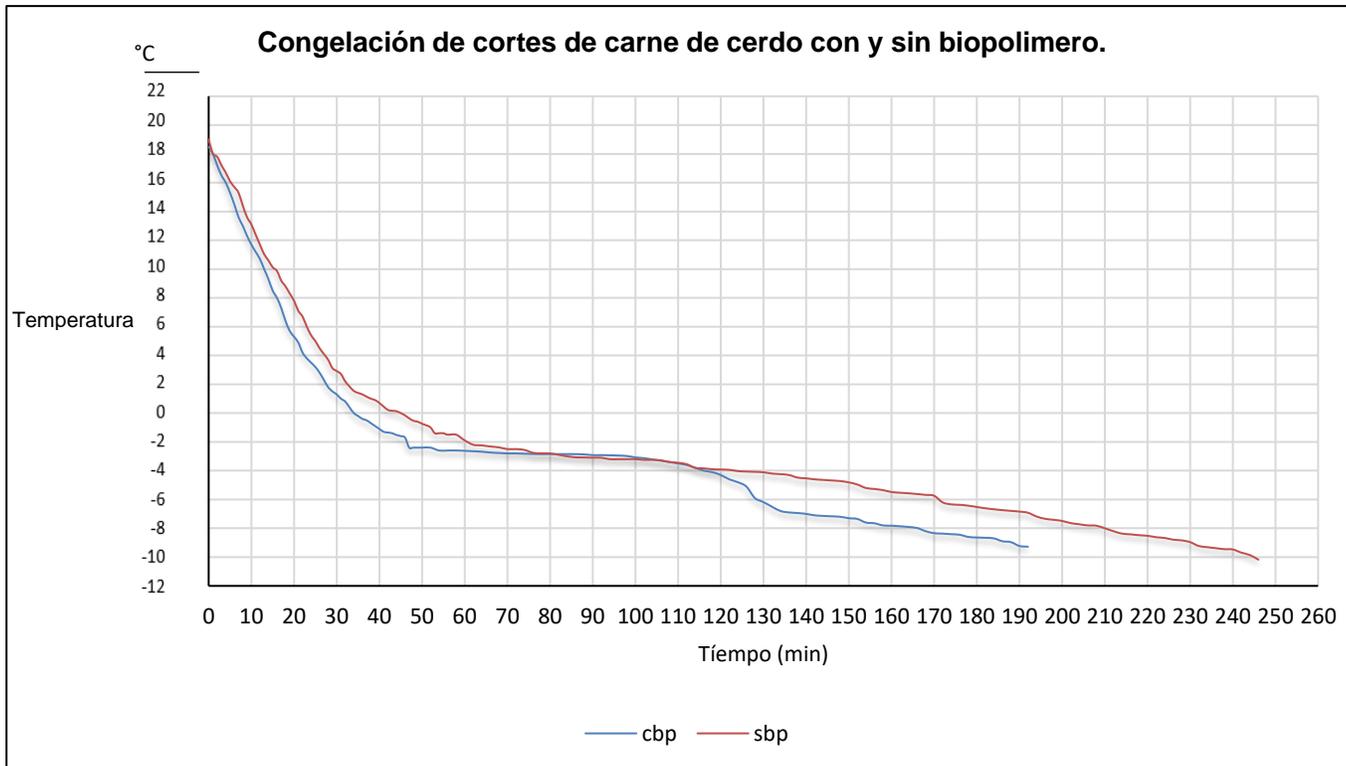


Figura 26. Historia térmica de congelación para carne tratada con goma guar y sin guar.

En la Tabla 5 se muestran los resultados correspondientes a la congelación de las muestras con y sin biopolímero representadas en la Figura 26, en donde las muestras sin biopolímero (sbp) alcanzaron un punto inicial de congelación de -1.42°C , el cual es un valor aceptable conociendo que el Pic estándar en carne se encuentra dentro del intervalo de entre -1.5 a -1.8°C mencionado por Moreno, (2006), mientras que aquellas a las cuales se aplicó goma guar tuvieron una disminución en el Pic de -2.43°C

Tabla 5. Punto inicial de congelación (Pic) y tiempo de congelación en muestras cbp y sbp.

SIN BIOPOLIMERO	Promedio	S	CV	CON BIOPOLIMERO	Promedio	S	CV
Pic	-1.42°C	0.1155	7.0696	Pic ($^{\circ}\text{C}$)	-2.43°C	0.0577	2.3727
Tiempo en llegar a Pic (min)	52.14	2.218	5.3952	Tiempo en llegar a Pic (min)	47.18	1.2643	3.7070

En las Figuras 27 y 28 se muestran los puntos de inflexión dentro de la gráfica los cuales se determinaron a partir de obtención de la derivada de la curva para la congelación de carne con y sin biopolímero.

Determinación de punto inicial de congelación con biopolímero (cbp). Smoothed 10 pts.

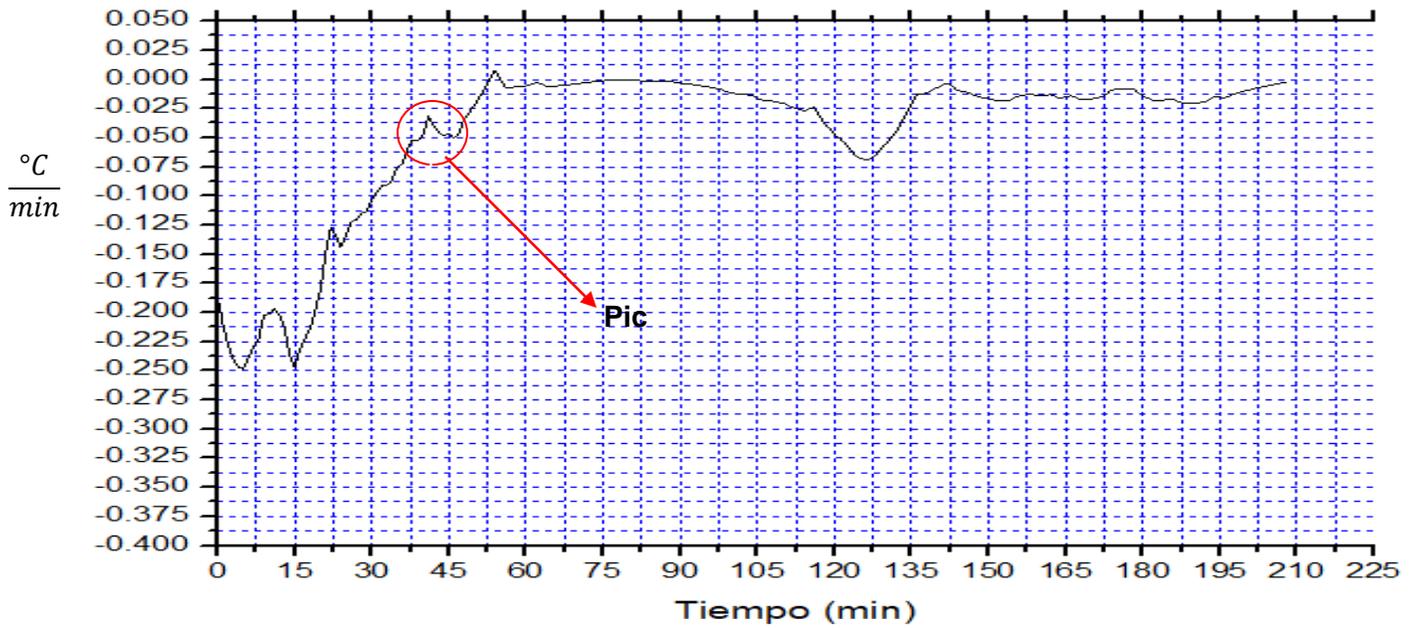


Figura 27. Determinación del punto inicial de congelación a través de los puntos de inflexión de la derivada de la curva cbp.

Determinación de punto inicial de congelación sbp. Smoothed 10 pts.

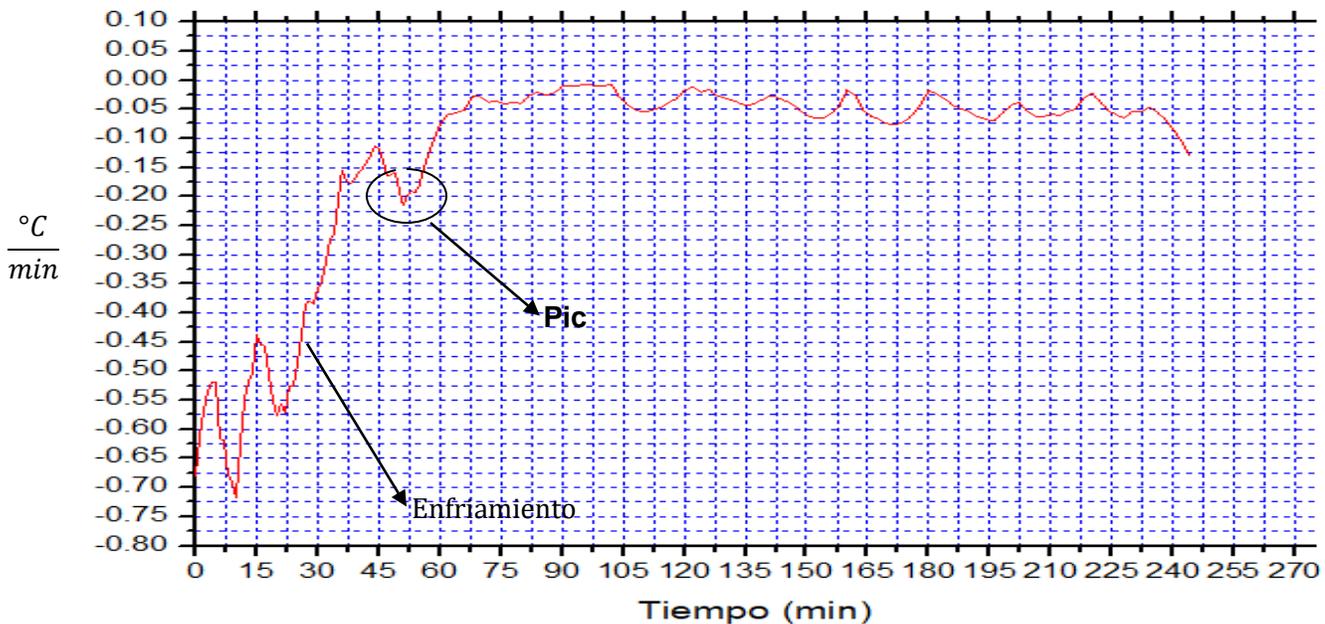


Figura 28. Determinación del punto inicial de congelación a través de los puntos de inflexión de la derivada de la curva sbp.

Esta diferencia en el Pic (Punto inicial de congelación) entre las muestras cbp y sbp es de aproximadamente 1°C, lo cual se le puede atribuir debido a la presencia de sólidos en el sistema, siendo así que el biopolímero permite la formación de redes tridimensionales atrapando el agua dentro de éstas, generando puentes de hidrógeno lo cual no permiten la disponibilidad del agua libre para ser congelada. Por otro lado, existe una diferencia muy importante en el tiempo operativo entre ambas muestras, reduciéndolo hasta en un 10.51% para el caso de los cortes con pretratamiento. Cabe destacar que para la determinación del punto inicial de congelación se realizó la derivada de la curva de congelación perteneciente tanto a las muestras cbp como las de sbp, obteniendo así los puntos de inflexión para cada una de ellas, en donde se pudo determinar el punto en el cual se dio el cambio de fase (Fusión) así como sus tiempos de congelación.

ACTIVIDAD 2 (TIEMPO DE DESCONGELACIÓN)

El ultrasonido como ya se había mencionado anteriormente posee la capacidad de generar ondas que se propagan intensamente a través de agua, generando zonas de compresión y expansión en las cuales se forman burbujas al vacío que se expanden y contraen generando una gran presión y temperatura al momento de su implosión, a este fenómeno se le conoce como cavitación. El efecto de este fenómeno es utilizado en la aplicación de limpieza de instrumental, así como para diferentes operaciones como la congelación - descongelación.

Se realizaron pruebas de descongelación con el uso de ultrasonido aplicadas en cortes de lomo de cerdo con y sin goma guar con el fin de analizar el cambio en la cinética de descongelación en comparación cuando no se usa esta operación.

En la figura 29 se muestra relación Temperatura vs Tiempo a través de una historia térmica para descongelación de muestras de lomo con y sin biopolímero.

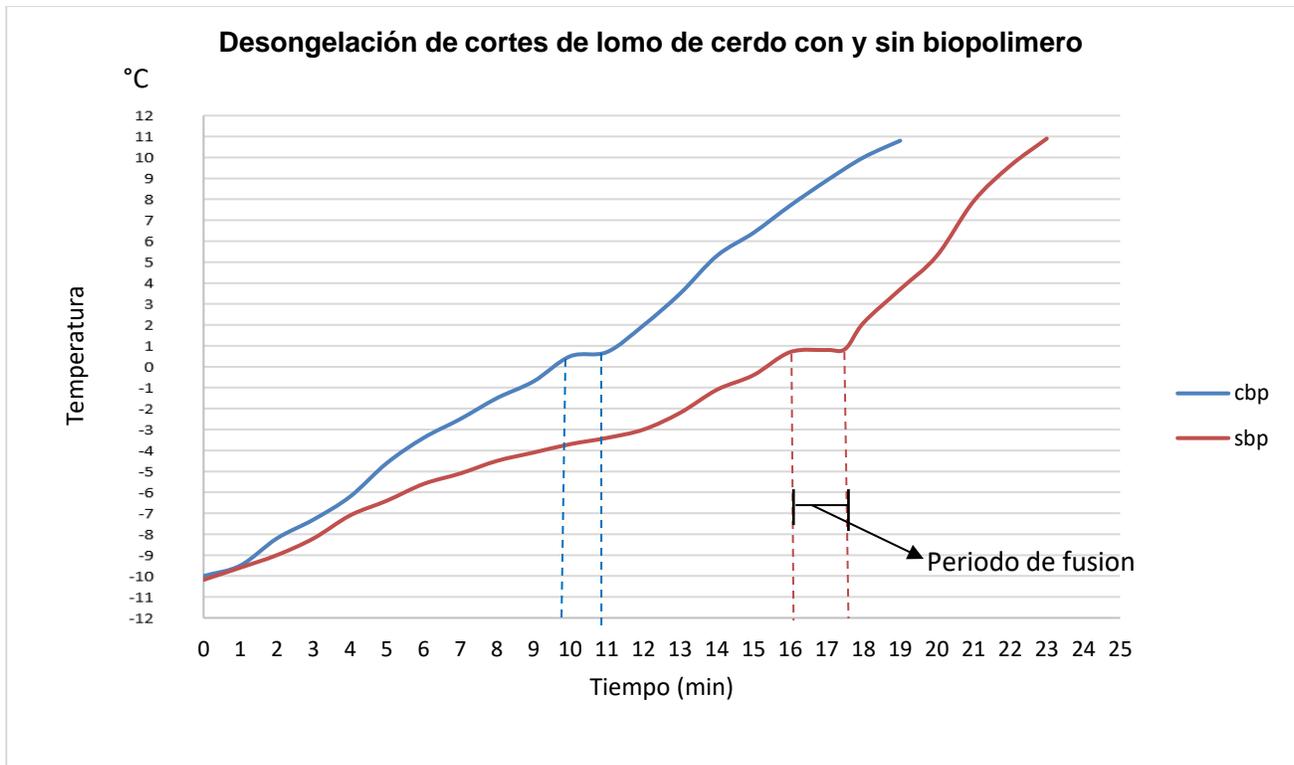


Figura 29. Historias térmicas de descongelación de cortes de lomo de cerdo con y sin goma guar.

Como se puede observar en la figura 29, existe un aumento de la temperatura provocado por la generación de calor latente influenciado por el fenómeno de cavitación del ultrasonido, hasta llegar a un pequeño periodo donde la temperatura se mantiene constante, lo que representa la fusión de los cristales de hielo, posteriormente continua con un periodo ascendente lo que representa la absorción de energía y el aumento de temperatura en la fase líquida en las muestras con y sin biopolímero. Sin embargo, se presenta un tiempo menor en el periodo de fusión perteneciente a las muestras que contienen goma Guar con una diferencia de 3 s. por lo cual se infiere la existencia de cristales más grandes en las muestras sin bp debido a la requisición de más tiempo de operación para llegar a la fusión hielo-agua.

En las Figuras 30 y 31 se muestran los puntos de inflexión dentro de la gráfica, la cual se determinaron a partir de obtención de la derivada de la curva para la descongelación de carne con y sin biopolímero.

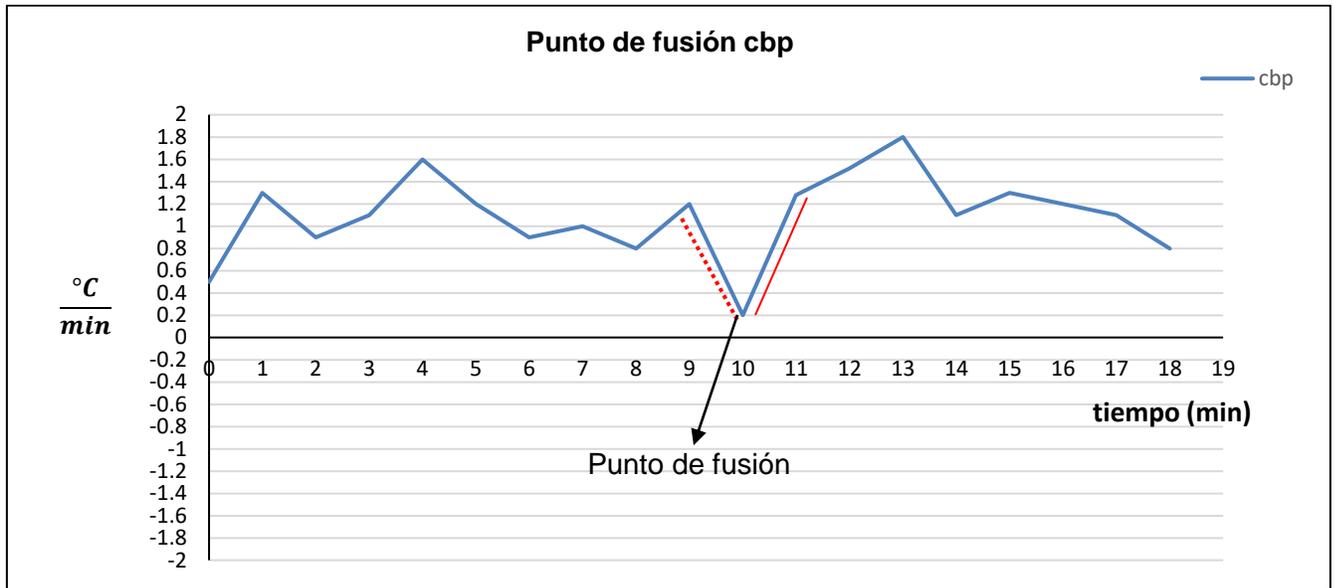


Figura 30. Determinación del punto de inflexión para la descongelación de muestras de lomo de cerdo expuestas a la operación de ultrasonido.

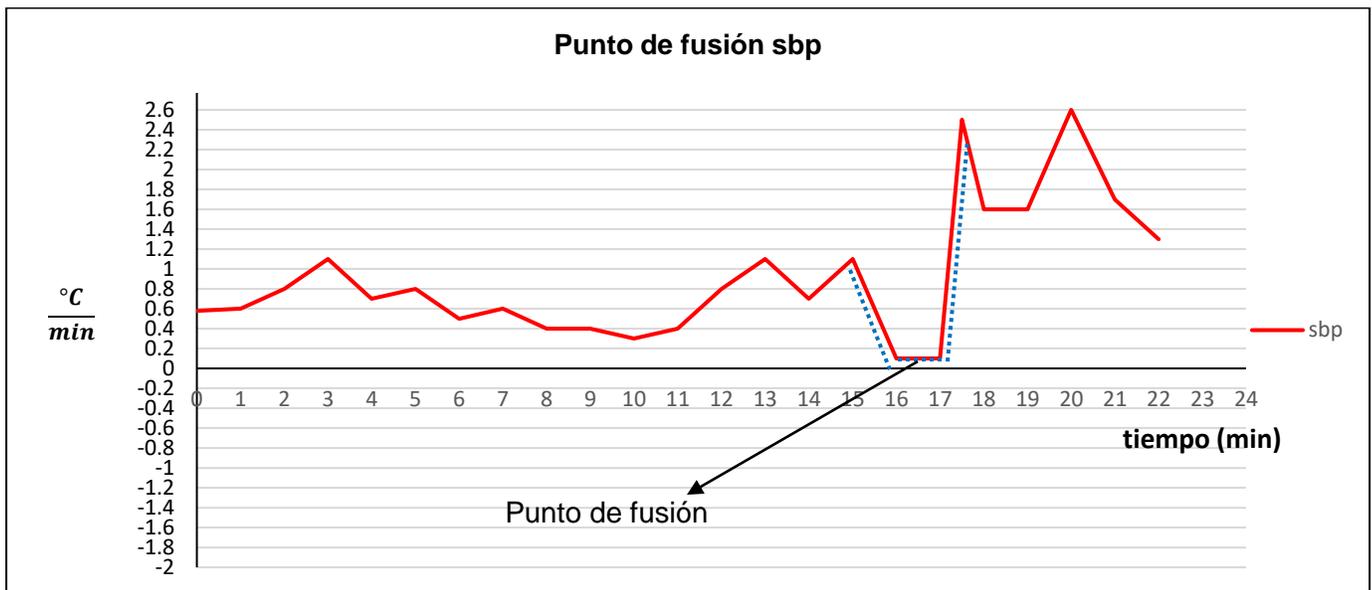


Figura 31. Determinación del punto de inflexión para la descongelación de muestras de lomo de cerdo sbp.

Otro punto importante es el tiempo de operación, ya que se reduce considerablemente en las muestras con guar con un tiempo de 18.2 min en comparación con las que no contienen las cuales llegaron a una temperatura de 10 °C en un tiempo de 21.9 min lo cual reduce la operación en un 20.32%. por lo cual se infiere que la operación es más eficiente.

Cabe destacar que para la determinación del punto de fusión se realizó la derivada de la curva de descongelación perteneciente tanto a las muestras cbp como las de sbp, obteniendo así los puntos de inflexión para cada una de ellas, en donde se pudo determinar el punto en el cual se dio el cambio de fase (Fusión) así como el tiempo en que se da este fenómeno.

Esta diferencia en el tiempo se puede justificar debido:

- Fusión de los cristales de manera más rápida en las muestras cbp debido a la menor cantidad de energía necesaria para fundir los cristales, esto se debe principalmente a que durante la congelación de agua se utiliza mucha energía en la formación de núcleos para que posteriormente los cristales sigan creciendo, por otro lado cuando se da la cristalización sobre solutos el cristal comienza a crecer sobre estos tomando el sólido como núcleo (Orrego, 2008), es por ello que las muestras con biopolímero al poseer una mayor cantidad de sólidos la energía necesaria para fundirlos es menor.

ACTIVIDAD 3 (CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA)

En la Figura 32 se muestra la diferencia en la capacidad de retención de agua de muestras a las cuales fueron sometidas a congelación en cámara y posteriormente sonicadas con el baño de ultrasonido para las muestras con y sin biopolímero.

Se obtuvieron los valores de humedad para 3 lomos diferentes utilizados para el cálculo de la capacidad de retención de agua, a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Determinación de Humedad.

$$MS = \frac{\text{Peso de la muestra seca (g)}}{\text{Peso de la muestra húmeda (g)}} \times 100, \quad H = 100 - \% MS \dots \dots \dots Ec.(3)$$

Se obtuvo el siguiente valor.

Tabla 6. Valor experimental estándar de humedad para carne fresca.

Humedad promedio	80.0% ± 0.03	S= 0.11
------------------	--------------	---------

Una vez determinada la humedad se realizaron los cálculos para la C.R.A, los objetos de estudio fueron: carne fresca, fresca con goma guar, descongelada por ultrasonido con bp y sin bp. Los resultados se presentan a continuación:

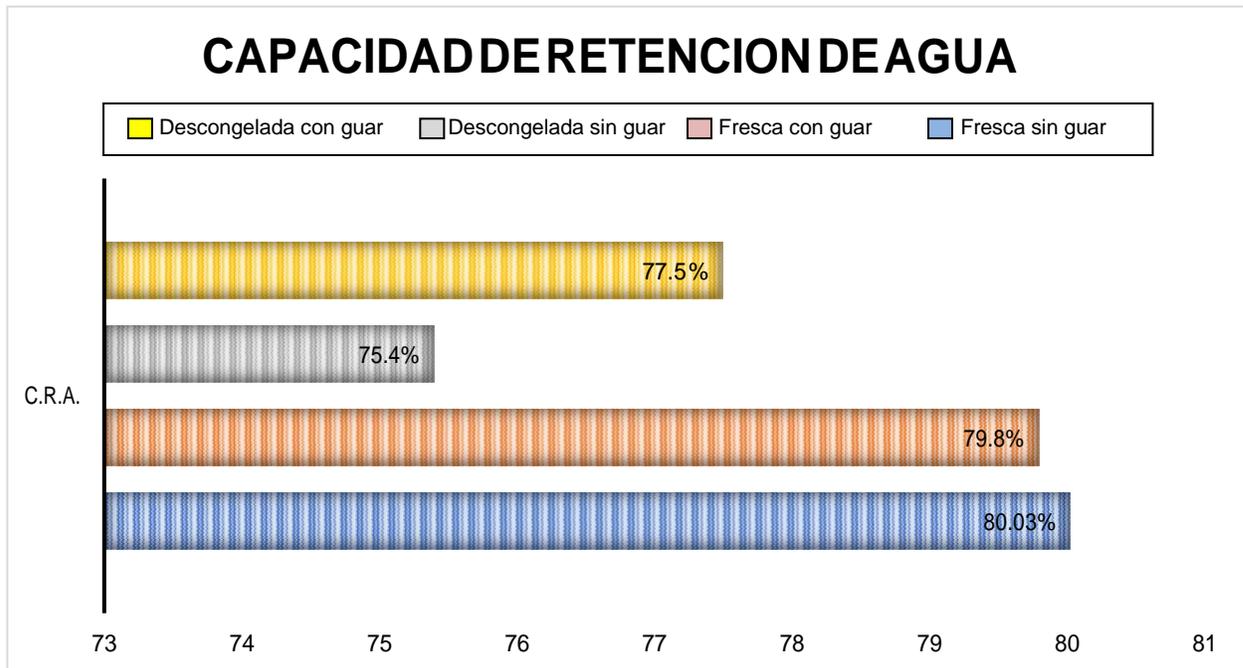


Figura 32. Diferencia en C.R.A. para muestras descongeladas con ultrasonido, pretratadas con bp, sin bp y comparadas con el valor de la carne fresca.

Como se observa en las muestras sin tratamiento descongeladas por sonicación, la C.R.A. disminuye 4.63% en comparación con la carne fresca esto es debido al aumento de la presión y la temperatura causado por el fenómeno de cavitación durante el ultrasonido, por lo cual se infiere la existencia de daño en las fibras musculares por la desnaturalización de las proteínas, por lo cual la capacidad de hacer enlaces proteína - agua se vuelve menor, generando una mayor cantidad de exudados, por otro lado para las muestras con tratamiento descongeladas por ultrasonido su C.R.A. decreció en un 2.53 %, esta mejoría se debe a la naturaleza misma del biopolímero la cual funciona como un amortiguador ante los impactos generados por la cavitación por lo que la ruptura de las fibras musculares es menor y no permite una gran cantidad de exudados en comparación cuando no posee este biopolímero.

CONCLUSIONES

Se realizó el estudio en donde queda establecida la cantidad de goma guar que es capaz de alojar un corte de carne de cerdo en este caso de 45 g, sin embargo, que también al aplicar la dispersión se pierde una cantidad importante al ser expulsado de la carne, considerando un 37.26 % de pérdida en un volumen máximo de 2 mL inyectados. Se demostró a través de la aplicación de goma guar con fluoresceína sódica que este biopolímero es capaz de penetrar a través de las fibras musculares de la carne y no solo eso; sino que también se tienen una visualización del área que recorre dentro de ellas expresado en la gráfica radial.

El uso de la goma guar tiene gran impacto en los tiempos de congelación ya que se encuentra influenciado por el aumento de sólidos en el sistema cárnico reduciendo así hasta en un 10.51 % y disminuyendo el Pic en 1°C en comparación a las muestras sin tratamiento. Por otro lado, la aplicación del ultrasonido como método de descongelación de cortes de lomo de cerdo logro reducir el tiempo de operación hasta en un 20.32 % iniciando en una temperatura de -10°C hasta los 10°C en 18.2 min para el caso de las muestras cbp en comparación a las sbp con un tiempo de 21.9 min. por lo cual se infiere en base a los resultados obtenidos experimentales que la operación de ultrasonido en este caso el baño ultrasónico es más eficiente para la descongelación de la carne en un tiempo corto en comparación a la descongelación convencional en cámara de refrigeración, sin embargo, tras la aplicación de dispersión de goma al sistema cárnico lo hace aún más, dañando de menor manera las fibras musculares traducido en un volumen de exudado menor al que se obtendría mediante otros metodos, lo que repercute en su C.R.A. y por lo cual se infiere de igual manera que mantiene sus características texturales lo más parecido a la carne fresca.

La aplicación de goma guar en carne de cerdo mostro grandes beneficios en cuanto al mantenimiento de una propiedad relacionada con la estructura de la carne, estamos hablando de la C.R.A., ya que esta disminuyo al ser sometida a operaciones como congelación-descongelación sin embargo, al ser comparada con las muestras las cuales no poseían el biopolímero la disminución de dicha propiedad fue muy grande, estamos hablando de un 4.63 %, con ello se puede inferir que existe una relación intracelular entre la goma guar, el agua libre del sistema y las proteínas estructurales de la carne tales que permiten proteger la estructura del rompimiento de las fibras musculares durante cambios de presión y temperaturas de tal manera que la C.R.A no se ve tan afectada por ello.

De tal forma que se aceptan las consideraciones propuestas en la hipótesis en donde el ángulo en el cual la percepción de la penetración con respecto a la luz que emite por acción del haz ultravioleta es de 0° donde es posible apreciar la distribución, así como la concentración de éste en forma de valores altos de L^* en comparación con otros ángulos en donde el cambio de ángulo provoca que una concentración baja no se perciba la emisión de luz. Por otro lado, la goma guar beneficia a mantener características en la carne, disminuye el Pic debido a la concentración de solutos en el sistema, beneficia la operación de descongelación y finalmente evita una parte del volumen de exudados que se obtienen en comparación cuando se aplica en biopolímero. Sin embargo, se creía que este efecto de la inyección de goma guar sería más notorio, además que se tendría que comparar con otros métodos de transferencia de masa con el biopolímero con el fin de conocer si esta técnica es de la que se obtienen mejores resultados así como también se podría considerar la aplicación de otro tipo de biopolímeros o dispersiones con algunas sales las cuales permitan que la interacción entre las moléculas se a más fuerte y contribuya al aumento en la C.R.A.

Otro aspecto es llevar un estudio más profundo sobre la medición de la penetración de este a través de las fibras musculares mediante cortes transversales o placas que permitan la visualización con un microscopio de alta potencia las intercalaciones, así como el volumen total de la carne que se podría considerar afectado, este es un estudio en el que se podrían dar eventualmente cosas positivas para la investigación y para el campo de la industria de tal forma de poder modificar como lo hacemos actualmente.

REFERENCIAS

1. Alzate, H. (2006). *Física de las ondas*. Instituto de físico. Medellín, Colombia. p.197
2. Alba, L., y Gonzales A. (1996). *Uso de la luz ultravioleta para el estudio de conservación de la pintura de caballete*. Madrid, España. ICO.
3. A.O.A.C. (2005). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist International. Maryland, Unites States,140-142.
4. Atkins, P., y Jones, L. (2005). *Principios de química. Los caminos del descubrimiento*. Montevideo, Uruguay: Editorial Médica Panamericana,130-142.
5. Bhandari, B., y Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering* 40: 71 -79
6. Barbany, J. (2002). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo, p.240-272.
7. Beem, E., y Segal, M. S. (2013). Evaluation of stability and sensitivity of cell fluorescent labels when used for cell migration. *Journal Fluorescence*. 23(5), 975-987.
8. Bichowsky, F., y Rossini, C. (1996). *Thermochemistry of Chemical Substances*, New York: Reinhold, p.156-175.
9. Borja, A., Gómez, S., Corcuera A., y Eceiza A. (2014).Preparación de dispersiones de Partículas en Resinas Viscosas Mediante Sonicación en Recirculación. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15(4), 211-218.
10. Botero, M., Salazar, O., Mendoza, J. (2007). Método anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*, 37(1),122-170
11. Cheftel, J. (1976). *Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos*. España: Acribia, p.65-72.
12. Cheftel, J., y Cheftel, H. (1976). Los principales sistemas bioquímicos alimentarios- Comportamiento durante los tratamientos.Zaragoza. Acribia vol. I, cap.II, p. 41-234.
13. Chow, D., y Morr, C. (1979). *Proteins - Water Interactions and functional properties*. Journal of the American Oil Chemist Society. España.
14. Condón, S., Raso, J., y Pagán, R. (2005). *Microbial inactivation by ultrasound. Novel Food Processing Technologies*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
15. Datta, A., y Davison, P. (2003). Microwave and Radio frequency processing. *Journal of Food Science*, 10(1), 32-41.
16. Davidson, R. (1980) *Handbook of water-soluble gums and resins*, USA: Mc Graw Hill, p.117-124.
17. Dziezak, J. (1991). A focus on gums. *Food Technology*, 45(3), p.115
18. Dolatowski, J., Stadnik D., y Stasiak, D. (2007). *Aplications of ultrasound in food technology*. Estados Unidos. Tecnología alimentaria, p.89-99.
19. Dorrel, P. 1994. *Photography in archaeology and conservation*. Cambridge manual

- in archaeology. New York, USA: Press Cambridge, p.260.
20. Espinoza, M., y Rivas V. (2010). Fluorescencia visible inducida por radiación UV. Sus usos en la conservación y diagnóstico de colecciones. México: Reverte, p.38
 21. Franke, K. (2000). A new approach for the numerical calculation of freezing and thawing processes of foods using a modified fictitious heat flow method. *Journal of Food Engineering*, 44, 23-29.
 22. Gabas, A., Telis, R., y Telis, V. (2003). Influence of fluid concentration on freezing point depression and thermal conductivity of frozen orange juice. *International Journal of Food Properties*, 6(3), 543-556.
 23. Glicksman, M. (1986). *Food hydrocolloids*. New York: Chemical Rubber, p.42
 24. Grant, M. (2000). *The use of ultraviolet induced visible fluorescence in the examination of museum objects*, Part I. USA: Conserve O Gram, p.16.
 25. Gómez, A., Cerón, T., Rodríguez, V., Martínez, M., y Vázquez, A. (2007). Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 1, 80-96.
 26. Gutiérrez, B.J. (2000). *Ciencia bromatológica*. Madrid, España: Diaz de Santos, p.84-238.
 27. Gutierrez, B.J. (2003). *Carnes y derivados*. Madrid, España: Mc Graw Hill-Interamericana, p.96
 28. Hamm, R. (1986). *Functional properties of the myofibrillar system and their measurements en Muscle as Food*. New York: Academic Press, 135-199.
 29. Huidobro, A., y Tejada, M. (1998). Propiedades de hidratación del músculo. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, (3)4, 365- 381.
 30. Honikel, K. (1998a). Methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Journal Meat Science*, 49(1), 447-457.
 31. Honikel, K. (1998b). *Capacidad de fijación de agua en la carne*. USA: Academic Press, p. 30-36.
 32. Kiani, H., y Sun, D. W. (2011). Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 22(8), 407-426.
 33. Kirby, R. (2003). Water in food production and processing: quantity and quality concerns. *Food Control*, 14(1), 283-299.
 34. Konica minolta. (2014). Espacio de color. <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/> Consulta:12-julio-2017
 35. Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., y Lee D. (2004). Applications and potential of ultrasonic in food processing. *Food Science & Technology*, 15, 261-266.
 36. Lagares, G. (2004). A comparative analysis of a quality and utility of muscles of

- porkers of different genotype to massaged products. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*, 9(4), 218-242.
37. Liguntom, H., Mesina, A., y Ganji, V. (2003). Use of seed gums in low fat pork: Efect on physical and sensory characteristics. *Journal of Food Properties*, 99(9),28.
38. Lima, M., y Sastry, S. K. (1990). Influence of fluid rheological proprieties and particle location on ultrasound-assisted heat transfer between liquid and particles. *Journal of food science*, 2(1), 1112-12215.
39. Lupano, C. (2013). *Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad de Argentina. p. 12-17.
40. Mason, T., Riera, E., Vercet, A. y Lopez-Buesa, P. (2005). Application of ultrasound. *D Sun. Elsevier*. Londres, 323-351.
41. Miller, D. (2010). *Minerales. En Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, p. 521-569.
42. Montiel, H. P. (2000). *Temas Selectos de Física 2*. México: Grupo Editorial Patria, p.223.
43. Muñoz, A. (2008). *Principios de color y holopintura*. Colombia: ECU, p.145-147.
44. Nussinovitch, A. (2013). *Polymer applications in foods*. USA: Blackwell Science, p. 198-205.
45. Orrego, C.E. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Colombia: Manizales, p. 100-147.
46. Orrego C. E. (2009). *Procesamiento de alimentos*. Colombia: Manizales, p. 86-92.
47. Pham, Q., y Mawson, R.F. (1997). *Moisture migration and ice recrystallization in frozen foods, in Quality in frozen food*, Editors: New York. p. 67-91.
48. Pasquel, A. (2001). Gomas: Una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), p. 1 - 8.
49. Pham, Q., Tof, G., Carry, J., y Mains, A. (1994). Determination of the enthalpy of foods by adiabatic calorimeter. *Journal of Food Engineering*, 21(2), 137-156.
50. Pearson, A. (1994). *Introduction to quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. "Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products"* Chap. 1. Great Britain: Blackie Academic & Professional, p. 325.
51. Perry, J. C. (1996). *Chemical Engineers Handbook*. New York, McGraw-Hill, p. 1056.
52. Plank, R. (2005). *El empleo del frío en la industria de la Alimentación*. Berlin: Reverté, p.85
54. Rahman, M., y Driscoll, R. (1994). Freezing points of selected seafoods. *International Journal of Food Sciences and Technology*, 29(1), 51-61.
55. Rawson, F. (1998). An introduction to ultrasonic food cutting. *Ultrasound in food*

processing, Mason, pp.253.

56. Restrepo, M., Alonso, D., Arango, M., Amezcua, C., y Castillo, A. (2001). *Industria de carnes*, Colombia: Reverte, p.65-247.
57. Rodriguez, M. (2006). *Servicio gallego de salud*, Madrid, España, p. 239-241.
58. Robles, O. (2012) Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 3(2),109-122.
59. Schneider, Y., Zahn, S., Schinder, C., y Rohm, H. (2009). Ultrasonic excitation affects friction interaction between food materials and cutting tools. *Ultrasonics*, 49(1), 588-593.
60. Sheard, P., Nute, G., Richardson, R., Perry, A., y Taylor, A. (1999). Injection of water and polyphosphate into pork to improve juiciness and tenderness after cooking. *Journal Meat Science*, 51(3), 371- 376.
61. Skoog, D. y Leary, J. (1994). *Spectroscopic of molecular fluorescence*. USA: McGraw- Hill, p. 201-219.
62. Skoog, D. (2001). *Principios de análisis instrumental* (5a edición). España: Mc Graw Hill. p. 387
63. Sun, W., Gee, K., Klaubert, D., y Haugland, R. (1997). Synthesis of Fluorinated Fluoresceins. *Journal of Organic Chemistry*, 62(19), 6469-6475.
64. Tambutti, R., y Muñoz, H. (2002). *Física, "La ciencia del agua"*. México: Limusa S.A de C.V. p 100-150.
65. Tapasco, Y., Restrepo, D., y Suarez, H. (2011). Hydrocolloids on reological brine marinated meat. *Journal of Biotechnology agropecuary*, 9(2), 211-214.
66. Torley, P., y Bhandari, B. (2007) *Ultrasound in food processing and preservation*. Handbook of food preservation. CRC Press, Boca Raton, Florida, p. 713-739.
67. Ultratecno.eu © Ultra Tecno (2011). Aplicaciones industriales para la limpieza por ultrasonidos <http://www.ultratecno.es/ultrasonidos-de-alta-potencia-28-khz/>
68. USDA (2005). *Métodos inocuos para descongelar alimentos*. Departamento de agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.
69. Vassilakis, P.N. (2001). *Perceptual and Physical Properties of Amplitude Fluctuation and their Musical Significance*. Los Angeles: Free Press, p.18-47

70. Villaseñor, C., Palacios, M., y Gonzales, A. (2012). Principios físicos del ultrasonido. *Investigación en discapacidad*, 1(1), p 25-34.
71. Xargayó, M. (2016). *Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero: inyección y tenderización*. Colombia: Metalquimia, p. 30-51.
72. Zheng y Sun, D. (2006). Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 16-23.