



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**EFFECTO DEL MÉTODO DE DESCONGELADO DE PANCETA DE  
CERDO SOBRE LA CALIDAD DEL TOCINO AHUMADO**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de:**

**Ingeniera Agroindustrial**

**P r e s e n t a**

**Yael Piña Guzmán**

**Dirección:**

**Dr. Roberto González Tenorio**

**Codirección:**

**Dr. Sergio Soto Simental**

**Asesores:**

**Dra. Elizabeth Pérez Soto**

**Mtro. M. Jesús Franco Fernández**

**Tulancingo de Bravo, Hidalgo, agosto de 2026**



## Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

**Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos**

*Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 20 de marzo de 2026

**Asunto:** Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Yael Piña Guzmán**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Efecto del Método de Descongelado de Panceta de Cerdo Sobre la Calidad del Tocino Ahumado"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, han decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del comité tutorial:

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Dr. Sergio Soto Simental        |  |
| Dra. Elizabeth Pérez Soto       |  |
| Dr. Roberto González Tenorio    |  |
| Mtro. M. Jesús Franco Fernández |  |

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente

"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz  
Coordinador de Ingeniería  
Agroindustrial

"Amor, Orden y Progreso"



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago  
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.  
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021  
ricardo\_navarro@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias, Dios, por tu amor infinito y tu bondad constante. Por darme fuerzas cuando las necesitaba, por iluminar mi mente y guiarme en cada decisión. Gracias por las personas que pusiste en mi camino como apoyo y compañía, y por darme la oportunidad de disfrutar este logro que tanto anhele.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Roberto González Tenorio, por su valiosa orientación, paciencia y dedicación durante todo el desarrollo de este trabajo por los consejos brindados y apoyo en todo momento de enseñanza que contribuyeron a mi experiencia en el complejo camino de la investigación.

Agradezco a mi codirector de tesis, el Dr. Sergio Soto Simental y a los miembros de mi comité revisor: Dra. Elizabeth Pérez Soto y Mtro. M. Jesús Franco Fernández por los conocimientos y herramientas que me brindaron para mejorar esta presente tesis, por su amabilidad y buena disposición de ayudar en esta investigación.

Gracias a todos los maestros por sus valiosos conocimientos proporcionados durante toda la carrera, por toda la dedicación, tiempo y esfuerzo que me brindaron.

Quiero agradecer a mis amigos y compañeros por su apoyo constante y motivación en cada etapa de este proceso.

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico con todo mi amor, respeto y cariño a mi madre Agripina Guzman Hernández y a mi padre Pedro Piña Pérez.

Gracias por todo, por darme la oportunidad de estudiar una carrera para mi futuro y por creer en mí, a pesar de los momentos difíciles les agradezco el apoyo incondicional que me han brindado para poder alcanzar y cumplir mis metas personales y académicas.

## RESUMEN

Este estudio analizó cómo diferentes métodos de descongelación de pancetas de cerdo afectan la calidad del tocino ahumado. Se evaluaron cuatro métodos: descongelación a temperatura ambiente, en refrigeración, en agua con sal al 1% y en un tumbler al vacío con una solución salino-fosfatada. Después del descongelado, las pancetas se procesaron para elaborar tocino ahumado y se midieron parámetros como merma, pH, capacidad de retención de agua, color, rendimiento al cocimiento y carga microbiana.

Los resultados mostraron que el método de descongelación influye claramente en la calidad. La temperatura ambiente provocó la mayor pérdida de líquidos y un mayor riesgo microbiológico, por lo que no se recomienda. La refrigeración redujo los riesgos sanitarios y mantuvo una buena calidad general. El tratamiento en agua con sal fue el que tuvo menor merma y ofreció mejores rendimientos durante la cocción, aunque disminuyó la intensidad del color rojo por dilución de la mioglobina. El tumbler mejoró la retención de agua y el rendimiento, pero mostró niveles intermedios de contaminación, lo que indica que requiere más control durante su uso.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                          |          |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Introducción.....</b>                                              | <b>1</b> |
| <b>2. Objetivo General .....</b>                                         | <b>3</b> |
| 2.1. Objetivos Específicos .....                                         | 3        |
| <b>3. Marco teórico .....</b>                                            | <b>4</b> |
| 3.1. Definición y características del tocino ahumado.....                | 4        |
| 3.2. Proceso industrial de producción del tocino ahumado.....            | 4        |
| 3.2.1. Curación mediante inyección y salmuera.....                       | 4        |
| 3.2.2. Inmersión en salmuera.....                                        | 5        |
| 3.2.3. Ahumado y cocción .....                                           | 5        |
| 3.3. Características sensoriales y nutricionales del tocino ahumado..... | 5        |
| 3.3.1. Perfil sensorial del tocino ahumado.....                          | 5        |
| 3.3.2. Sabor y aroma .....                                               | 6        |
| 3.3.3. Textura .....                                                     | 6        |
| 3.3.4. Color .....                                                       | 6        |
| 3.3.5. Contenido de macronutrientes .....                                | 6        |
| 3.3.6. Contenido de sodio y conservantes .....                           | 7        |
| 3.3.7. Vitaminas y minerales .....                                       | 7        |
| 3.4. Relevancia económica del tocino ahumado.....                        | 7        |
| 3.4.1. Contribución al sector cárnico.....                               | 7        |
| 3.4.2. Impacto en las exportaciones:.....                                | 7        |
| 3.4.3. Preferencias del consumidor:.....                                 | 8        |
| 3.5. Calidad e inocuidad en productos cárnicos.....                      | 8        |
| 3.5.1. Características sensoriales.....                                  | 8        |
| 3.5.2. Características nutricionales.....                                | 8        |
| 3.5.3. Control de patógenos:.....                                        | 9        |
| 3.5.4. Normativas y regulaciones .....                                   | 9        |
| 3.5.5. Prácticas de higiene y sanitización .....                         | 9        |
| 3.5.6. Tecnologías de conservación .....                                 | 10       |
| 3.5.7. Innovaciones en métodos de procesamiento .....                    | 10       |
| 3.6. Métodos y técnicas de descongelación de la carne .....              | 10       |
| 3.6.1. Temperatura ambiente.....                                         | 11       |

|           |                                                                       |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.2.    | Descongelación en cámara de refrigeración .....                       | 11        |
| 3.6.3.    | Uso de agua con sal en la descongelación .....                        | 12        |
| 3.6.4.    | Descongelación en microondas.....                                     | 13        |
| 3.6.5.    | Sistema de tumbler al vacío .....                                     | 14        |
| <b>4.</b> | <b>Materiales y Métodos .....</b>                                     | <b>16</b> |
| 4.1.      | Obtención y preparación de las muestras.....                          | 16        |
| 4.2.      | Diseño de tratamientos .....                                          | 16        |
| 4.2.1.    | Descongelado a temperatura ambiente.....                              | 17        |
| 4.2.2.    | Descongelado en cámara de refrigeración .....                         | 17        |
| 4.2.3.    | Descongelado por inmersión en agua con sal.....                       | 18        |
| 4.2.4.    | Descongelado mediante sistema de vacío en tumbler .....               | 18        |
| 4.3.      | Parámetros de calidad evaluados antes y después del descongelado..... | 19        |
| 4.3.1.    | pH .....                                                              | 19        |
| 4.3.2.    | Determinación del color instrumental .....                            | 19        |
| 4.3.3.    | Capacidad de retención de humedad (CRA) .....                         | 20        |
| 4.4.      | Elaboración del tocino ahumado .....                                  | 20        |
| 4.4.1.    | Rendimiento a la inyección .....                                      | 21        |
| 4.4.2.    | Purga.....                                                            | 22        |
| 4.4.3.    | Rendimiento al cocimiento.....                                        | 22        |
| 4.5.      | Análisis microbiológicos .....                                        | 22        |
| 4.6.      | Análisis estadístico .....                                            | 24        |
| <b>5.</b> | <b>Resultados y Discusión .....</b>                                   | <b>25</b> |
| 5.1.      | Merma por descongelado .....                                          | 25        |
| 5.2.      | pH .....                                                              | 26        |
| 5.3.      | Capacidad de retención de agua (CRA) .....                            | 26        |
| 5.4.      | Rendimiento a la inyección .....                                      | 27        |
| 5.5.      | Purga.....                                                            | 27        |
| 5.6.      | Rendimiento al Cocimiento .....                                       | 28        |
| 5.7.      | Evaluación de los parámetros de color .....                           | 28        |
| 5.7.1.    | Luminosidad (L*) .....                                                | 29        |
| 5.7.2.    | Intensidad de rojo (a*) .....                                         | 30        |
| 5.7.3.    | Intensidad de amarillo (b*) .....                                     | 30        |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>6. Conclusiones .....</b> | <b>34</b> |
| <b>7. Referencias .....</b>  | <b>36</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLA 1. COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DESCONGELACIÓN .....</b>                                                                                                       | <b>14</b> |
| <b>TABLA 2. TRATAMIENTOS UTILIZADOS DURANTE EL PROCESO DE DESCONGELACIÓN DE LAS MUESTRAS.....</b>                                                                               | <b>19</b> |
| <b>TABLA 3. MERMA POR DESCONGELADO, PH, CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD (CRA), RENDIMIENTO A LA INYECCIÓN, PURGA Y RENDIMIENTO AL CONOCIMIENTO EN PANCETAS DE CERDO. ....</b> | <b>25</b> |
| <b>TABLA 4. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL COLOR DURANTE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE DESCONGELACIÓN DE LAS PANCETAS. ....</b>                                                    | <b>29</b> |
| <b>TABLA 5. CUENTA TOTAL Y COLIFORMES TOTALES DEL TOCINO AHUMADO SEGÚN EL MÉTODO DE DESCONGELACIÓN.....</b>                                                                     | <b>31</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

El tocino ahumado es un producto cárnico de alto consumo en diversas culturas gastronómicas alrededor del mundo. Su sabor distintivo, aroma y textura son atributos que lo hacen especialmente apreciado entre los consumidores. La calidad del tocino ahumado está influenciada por diversos factores a lo largo de su cadena de producción, desde la selección de la materia prima hasta los métodos de procesamiento, almacenamiento y conservación (Stergios Melios *et al.*, 2024).

Uno de los aspectos críticos en la producción de tocino ahumado es la manipulación y preparación de la panceta de cerdo antes del proceso de ahumado. La congelación es una práctica común para conservar todos los cortes provenientes de grandes industrias que realizan el sacrificio y corte, entre ellos, la panceta. Pero el método de descongelado puede tener un impacto significativo en las características fisicoquímicas del producto final (Badri *et al.*, 2021).

Estas características incluyen la textura, el contenido de humedad, el perfil de ácidos grasos y los atributos sensoriales, todos los cuales son determinantes esenciales de la calidad y aceptación del producto por parte del consumidor. Además, durante el proceso de descongelado, se presentan problemas de pérdida de peso y de mioglobina, lo que resulta en mermas significativas para la industria cárnica (Coria-Hernández *et al.*, 2020).

El proceso de descongelado puede realizarse de diferentes maneras, incluyendo descongelado en refrigeración, a temperatura ambiente, en agua corriente o mediante el uso de microondas, entre otros. Cada uno de estos métodos implica distintas tasas de descongelación y gradientes térmicos, los cuales pueden afectar la estructura celular de la carne y, en consecuencia, su calidad. Sin embargo, existe una falta de consenso en la literatura sobre cuál de estos métodos es el más efectivo para mantener o mejorar las propiedades deseadas del tocino ahumado (Jiang *et al.*, 2025).

Este estudio se propone investigar el efecto de diferentes métodos de descongelado de la panceta de cerdo en las características fisicoquímicas del tocino ahumado resultante. Se evalúan parámetros importantes para la industria como las mermas por

descongelado, el pH, el color de la carne, la capacidad de retención de humedad, el rendimiento a la cocción y la estabilidad microbiana, para determinar cómo cada método de descongelado influye en la calidad del producto final. Los resultados de esta investigación proporcionarán información valiosa para la industria cárnica, permitiendo optimizar los procesos de producción y garantizar un producto de alta calidad para los consumidores.

Al entender mejor los efectos del descongelado en la panceta de cerdo, esta tesis contribuirá a mejorar las prácticas de manejo de carne y a asegurar la consistencia y calidad del tocino ahumado, satisfaciendo así las expectativas de un mercado globalizado y cada vez más exigente.

## **2. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de distintos métodos de descongelación de la panceta de cerdo sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y tecno funcionales del tocino ahumado, con el fin de identificar el método que optimice su calidad e inocuidad del producto final.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Cuantificar las pérdidas de peso durante el proceso de descongelación en cada método y su efecto en la eficiencia del proceso.
- Analizar la variación del color en las pancetas tras la descongelación, considerando los cambios en luminosidad ( $L^*$ ), tonalidad roja ( $a^*$ ) y amarilla ( $b^*$ ) en función del método empleado.
- Evaluar la capacidad de retención de agua (CRA) y su relación con el pH de las pancetas tras la descongelación, inyección y cocción.
- Comparar el rendimiento al proceso mediante la cuantificación del rendimiento a la inyección, purga y rendimiento final al cocimiento.
- Determinar el impacto microbiológico de los métodos de descongelación mediante el análisis de la carga microbiana total y la presencia de coliformes totales.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Definición y características del tocino ahumado**

El tocino ahumado es un producto cárnico que se obtiene principalmente de la panceta de cerdo (Wu *et al.*, 2024). A diferencia de los métodos tradicionales de curado en seco, en la industria se utiliza un proceso de curación húmeda, que incluye la inyección de salmuera en la carne, seguida de una inmersión adicional en la solución de curado. Este proceso asegura una distribución uniforme de los ingredientes de curado, como las sal, nitritos y fosfatos, lo que permite un control preciso para la seguridad y estabilidad del producto (Kang *et al.*, 2012; Bjørnevik *et al.*, 2018).

El tocino ahumado curado y cocido se caracteriza por su alto contenido de grasas y proteínas, así como por su elevado nivel de sodio, resultado del proceso de curado (Gómez-Salazar *et al.*, 2021).

La cocción posterior al curado y ahumado reduce el contenido de humedad del producto, contribuyendo a la formación de una textura firme y un sabor característico (Bax *et al.*, 2012; Bhat *et al.*, 2021). Además, el uso de nitritos en el proceso de curado promueve la formación de pigmentos rosados, típicos del tocino cocido, lo que mejora su apariencia visual (Ferysiuk & Wojciak, 2020).

#### **3.2. Proceso industrial de producción del tocino ahumado**

##### **3.2.1. Curación mediante inyección y salmuera**

En la producción industrial de tocino, el proceso comienza con la inyección de una solución de curado en la panceta descongelada del cerdo. Esta solución suele contener sal, nitritos, fosfatos, azúcares y, en ocasiones, especias o condimentos y antioxidantes. La inyección permite una penetración rápida y uniforme de los ingredientes de curado, lo que es fundamental para garantizar la calidad y seguridad del producto final (Zhang *et al.*, 2023).

### **3.2.2. Inmersión en salmuera**

Después de la inyección, la panceta se sumerge en salmuera para asegurar una curación completa y uniforme. Este paso puede durar desde varias horas hasta un par de días, dependiendo de las especificaciones del producto y las condiciones de procesamiento; la inmersión en salmuera también ayuda a equilibrar el contenido de humedad y sal en toda la pieza de la carne (Uttaro *et al.*, 2011)

### **3.2.3. Ahumado y cocción**

El proceso de ahumado se realiza después de realizada la curación, utilizando maderas seleccionadas que aportan compuestos aromáticos como fenoles y aldehídos, que son responsables del sabor y aroma distintivos del tocino ahumado (Porto *et al.*, 2006). En la producción industrial, se utiliza un ahumado en caliente, seguido de un proceso de cocción controlado que asegura la pasteurización del producto y mejora su estabilidad microbiológica (Mastanjević *et al.*, 2020).

La cocción se realiza a temperaturas controladas para garantizar que el producto alcance la textura deseada y que todos los patógenos potenciales sean eliminados, asegurando así la inocuidad del tocino cocido. Este paso también contribuye a la formación de una capa exterior crujiente y un interior jugoso, características clave del tocino ahumado (Racovita *et al.*, 2020).

## **3.3. Características sensoriales y nutricionales del tocino ahumado**

### **3.3.1. Perfil sensorial del tocino ahumado**

El tocino ahumado es ampliamente valorado por su distintivo perfil sensorial, que incluye un sabor robusto, un aroma característico, una textura y color atractivo; estos atributos son el resultado de una combinación de factores que incluyen el tipo de carne utilizada, el proceso de curado, el tipo de madera empleada en el ahumado y las condiciones específicas de cocción (Saldaña *et al.*, 2019a).

### 3.3.2. Sabor y aroma

El sabor del tocino ahumado se debe en gran parte a los compuestos volátiles generados durante el proceso de ahumado, donde maderas como el nogal o el arce se utilizan para impartir sabores ahumados profundos y complejos (Saldaña *et al.*, 2019b). Fenoles, ácidos orgánicos, y aldehídos son algunos de los compuestos claves responsables del aroma característico del tocino (Guo *et al.*, 2020). El proceso de curado también juega un papel importante, donde los nitritos utilizados no solo actúan como conservantes, sino que también contribuyen al desarrollo del sabor (Bedale *et al.*, 2016; Ferysiuk & Wojciak, 2020).

### 3.3.3. Textura

La textura del tocino ahumado está determinada por factores como el contenido de grasa intramuscular, la técnica de cocción y el tiempo de exposición al calor; durante la cocción, las grasas se funden parcialmente, creando una textura jugosa, pero al mismo tiempo permitiendo que el producto final tenga un exterior crujiente cuando se fríe o se hornea (Stergios Melios *et al.*, 2024a)

### 3.3.4. Color

El color rosado característico del tocino ahumado proviene principalmente de la formación de nitrosilhemocromo, un pigmento estable que se forma durante el curado en presencia de nitritos (Dietrich *et al.*, 2005). El ahumado, además de contribuir al sabor, aporta una coloración marrón a la superficie del tocino, lo que añade al atractivo visual del producto final (Ferysiuk & Wojciak, 2020).

### 3.3.5. Contenido de macronutrientes

El tocino ahumado es particularmente alto en grasa, con un contenido que puede oscilar entre el 30% y el 40% del peso total del producto. De esta grasa, una proporción significativa es grasa saturada, lo que ha llevado a que el consumo de tocino se asocie con riesgos potenciales para la salud cardiovascular (Gómez-Salazar *et al.*, 2021).

### 3.3.6. Contenido de sodio y conservantes

El proceso de curado del tocino implica la adición de sal y nitritos, que no solo actúan como conservantes, sino que también contribuyen al sabor del producto. Sin embargo, estos aditivos aumentan significativamente el contenido de sodio del tocino, a menudo superando los 1500 mg de sodio por cada 100 gramos (Zhang *et al.*, 2023). Este alto contenido de sodio es una consideración importante desde una perspectiva nutricional, especialmente para personas con hipertensión o enfermedades relacionadas (Gómez-Salazar *et al.*, 2021).

### 3.3.7. Vitaminas y minerales

El tocino también proporciona pequeñas cantidades de vitaminas del complejo B, como la B1 (tiamina) y B12, así como minerales como zinc y fósforo; sin embargo, el valor nutricional debe equilibrarse con la conciencia de su alto contenido calórico y graso (Khan *et al.*, 2024).

## 3.4. Relevancia económica del tocino ahumado

El tocino ahumado ocupa un lugar destacado dentro de la industria cárnica debido a su alta demanda y su versatilidad como producto. Es un componente clave en muchas cocinas alrededor del mundo, especialmente en América del Norte y Europa, donde su consumo se ha mantenido estable o ha crecido en las últimas décadas (Saldaña *et al.*, 2019; Merlo *et al.*, 2021).

### 3.4.1. Contribución al sector cárnico

El tocino representa una parte significativa del mercado de productos cárnicos procesados. Su valor de mercado se ha visto impulsado por su uso tanto en el hogar como en la restauración, donde se valora por su capacidad para realzar el sabor de otros ingredientes en una amplia variedad de platos (Merlo *et al.*, 2022).

### 3.4.2. Impacto en las exportaciones:

El tocino ahumado también es un producto clave en las exportaciones cárnicas. Países como Estados Unidos, Canadá y algunos europeos han visto un crecimiento constante

en las exportaciones de tocino ahumado a mercados emergentes, como Asia y América Latina, donde la demanda de productos cárnicos de alta calidad está en aumento; este crecimiento en las exportaciones no solo beneficia a las industrias cárnicas nacionales, sino que también contribuye al fortalecimiento de las economías locales y nacionales (Bojnec & Fertő, 2014; Arp & Delmore, 2024).

### **3.4.3. Preferencias del consumidor:**

La popularidad del tocino ahumado también puede atribuirse a las tendencias de consumo que priorizan productos que ofrecen conveniencia y sabor. El tocino precocido, por ejemplo, ha ganado terreno entre los consumidores que buscan opciones rápidas y fáciles de preparar. Además, el tocino ahumado ha encontrado un lugar especial en la cultura alimentaria como un ingrediente que puede transformar platos ordinarios en experiencias culinarias más sofisticadas (Saldaña *et al.*, 2022).

## **3.5. Calidad e inocuidad en productos cárnicos**

### **3.5.1. Características sensoriales**

La calidad sensorial de los productos cárnicos, como el tocino, incluye atributos como el sabor, la textura, el aroma y el color. Estos atributos son fundamentales para la aceptación del producto por parte del consumidor y se ven influenciados por el tipo de carne, los métodos de curado, el ahumado y la cocción (Stergios Melios *et al.*, 2024).

### **3.5.2. Características nutricionales**

La calidad nutricional de los productos cárnicos implica la cantidad y la calidad de los nutrientes presentes, como proteínas, grasas, vitaminas y minerales. Los productos cárnicos deben cumplir con los requisitos nutricionales y ofrecer beneficios para la salud sin comprometer su valor sensorial (Lorenzo *et al.*, 2014). La reducción de grasas saturadas y sodio en productos cárnicos es una tendencia creciente para mejorar la calidad nutricional.

### 3.5.3. Control de patógenos:

Los productos cárnicos deben ser monitoreados y controlados para evitar la presencia de patógenos como *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*. La implementación de sistemas de control como el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) es fundamental para asegurar la inocuidad (Mataragas *et al.*, 2008) Los controles en cada etapa del procesamiento, desde la recepción de materias primas hasta el envasado final, son esenciales para prevenir la contaminación.

### 3.5.4. Normativas y regulaciones

Existen diversas normativas y regulaciones nacionales e internacionales que garantizan la inocuidad de los productos cárnicos. En los Estados Unidos, la USDA regula los estándares para la carne y los productos cárnicos, mientras que, en Europa, la EFSA desempeña un papel similar. Estas agencias establecen normas estrictas para el procesamiento, el etiquetado y la seguridad alimentaria (Jenson & Sumner, 2012).

Según la norma mexicana (NMX-F-126-1969), el tocino es el producto obtenido del tejido adiposo de la pared abdominal del cerdo con o sin piel y sometido a procesos de curado y ahumado, recortado en la forma a juicio del productor. La porción no magra del tocino proviene de la acumulación de grasas depositadas en el tejido adiposo corporal del cerdo en contacto con la piel, es decir, la grasa subcutánea formada por adipocitos cuya concentración de grasa varía de acuerdo con su ubicación. Ésta puede ser extraída del lomo, el costillar, la pierna, el brazo, el abdomen, y la papada del cerdo, y donde el tocino recibe su nombre, por ejemplo, si la carne es extraída del dorso, es tocino dorsal, etcétera.

### 3.5.5. Prácticas de higiene y sanitización

La higiene y sanitización en las instalaciones de procesamiento de carne son cruciales para mantener la inocuidad del producto. Esto incluye el mantenimiento de prácticas adecuadas de limpieza y desinfección de equipos y superficies, así como la capacitación del personal en prácticas de manipulación segura de alimento. La implementación efectiva de estas prácticas reduce el riesgo de contaminación cruzada y asegura la calidad e inocuidad del producto final (Hasan *et al.*, 2024).

### 3.5.6. Tecnologías de conservación

Las tecnologías como la refrigeración y el envasado al vacío son fundamentales para mantener la calidad y la inocuidad de los productos cárnicos. El envasado al vacío ayuda a prolongar la vida útil del producto al reducir la exposición al oxígeno y prevenir el crecimiento de microorganismos (Sauvala *et al.*, 2023).

### 3.5.7. Innovaciones en métodos de procesamiento

Innovaciones como la tecnología de ionización y el uso de bacterias probióticas en el curado están siendo investigadas para mejorar la inocuidad y la calidad de los productos cárnicos (Kołożyn-Krajewska & Dolatowski, 2012). Estas tecnologías ofrecen nuevas maneras de controlar patógenos y mejorar las propiedades del producto final.

## 3.6. Métodos y técnicas de descongelación de la carne

El propósito de la descongelación es el de llevar la carne a una temperatura adecuada para su conservación inocua y funcional, así como adecuarla para las necesidades del proceso según los productos a la que sea destinada. La descongelación, que conlleva un periodo de entre 18 a 20 horas, es un proceso más lento que el de la congelación porque la conductividad térmica es menor en la carne congelada que en la carne no congelada (Jiang *et al.*, 2025). Los métodos de descongelación deben garantizar la inocuidad de la carne como requisito esencial, evitando que alguna parte de la carne quede expuesta por encima de 4°C, en donde habría un mucho mayor crecimiento bacteriológico con su consecuente deterioro. Lo que se busca, es aportar energía a una masa de carne para aumentar su temperatura lo más rápido posible, normalmente desde -18°C hasta 0°C.

Los objetivos que se plantean en esta etapa del proceso son:

- ✓ No alterar o perder proteínas, ya que se puede perder la función tecnológica de la carne
- ✓ Controlar y reducir las condiciones de riesgo que favorezcan el crecimiento de microorganismos

- ✓ No demorar el proceso que puede generar desnaturalización de las proteínas, oxidación de los lípidos y el consecuente efecto negativo en las características organolépticas de la carne
- ✓ Evitar la pérdida de agua de la propia carne con la consiguiente merma económica

### **3.6.1. Temperatura ambiente**

La descongelación a temperatura ambiente implica dejar que la carne se descongele en un entorno de temperatura ambiente, generalmente entre 15°C y 25°C. Este método es rápido, pero no tan conveniente, ya que conlleva varios riesgos significativos para la calidad y seguridad del producto cárnico (Jiang *et al.*, 2025).

#### **3.6.1.1. Desarrollo microbiano**

A temperatura ambiente, la carne puede entrar en la "zona de peligro" de temperaturas (entre 4°C y 60°C), donde los patógenos como *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* pueden proliferar rápidamente. La temperatura ambiente favorece la rápida multiplicación de bacterias, aumentando el riesgo de enfermedades alimentarias (Lagarde *et al.*, 2024). La carne puede alcanzar temperaturas donde las bacterias se duplican cada 20 minutos, promoviendo un riesgo significativo para la salud.

#### **3.6.1.2. Pérdida de mioglobina y calidad del color**

La exposición prolongada a temperaturas superiores a las recomendadas para la conservación puede provocar la degradación de mioglobina, la proteína responsable del color rojo de la carne. Esto resulta en un cambio de color hacia tonos grisáceos o marrones, indicando una posible pérdida de calidad. La mioglobina se desnaturaliza y oxida a temperaturas más altas, afectando negativamente el aspecto visual y la percepción de frescura (Coria-Hernández *et al.*, 2020).

### **3.6.2. Descongelación en cámara de refrigeración**

La descongelación en refrigeración es un método ampliamente utilizado debido a su seguridad microbiológica y su capacidad para mantener la calidad de la carne. Este

proceso se realiza colocando la carne en un refrigerador a temperaturas controladas entre 0°C y 4°C, un rango que minimiza el riesgo de crecimiento bacteriano y asegura la seguridad alimentaria (Coulomb, 2008). La principal ventaja de este método es que mantiene la carne en un entorno frío que inhibe el desarrollo de patógenos, reduciendo así el riesgo de contaminación;

Para un manejo eficiente de la descongelación, la carne, como las pancetas de cerdo, se coloca en una cámara de refrigeración a temperaturas precisas entre 2°C y 4°C. Además, la humedad relativa en la cámara se ajusta para disminuir gradualmente desde un 95% hasta un 60%. Este ajuste en la humedad es importante para minimizar las pérdidas por merma y mantener la calidad del producto durante el proceso.

### **3.6.3. Uso de agua con sal en la descongelación**

La descongelación en agua con sal es una variante de la inmersión en agua fría, en la que se disuelve cloruro de sodio en el agua antes de sumergir la carne. Se ha demostrado que esta técnica puede mejorar la textura y reducir la pérdida de jugos en comparación con la descongelación en agua sin sal (Llave & Sakai, 2018). La adición de sal influye en la capacidad de retención de humedad de la carne y puede acelerar el proceso de descongelación.

#### **3.6.3.1. Beneficios de la descongelación en agua con sal**

Según Llave & Sakai (2018), mencionan que los beneficios de la descongelación en agua con sal son las siguientes:

- Se tiene una mejor retención de la humedad: la presencia de sal en el agua reduce la pérdida de jugos al evitar que las proteínas musculares se desnaturalicen rápidamente. Se ha reportado que la carne descongelada en soluciones salinas al 2-3% retiene hasta un 15% más de humedad en comparación con la descongelada en agua sola.
- Descongelación más uniforme: el agua con sal tiene una mayor capacidad de transferencia térmica, lo que ayuda a que el calor se distribuya de manera más homogénea a lo largo de la carne, reduciendo el riesgo de que algunas partes queden parcialmente congeladas mientras otras se calientan en exceso.

- Reducción del tiempo de descongelación: se ha encontrado que la descongelación en agua con 2% de sal puede ser hasta 20% más rápida que en agua sola, ya que la presencia de sodio altera la estructura del hielo y favorece una transferencia térmica más eficiente.

#### **3.6.4. Descongelación en microondas**

El uso de microondas para la descongelación de la carne es un método común debido a su rapidez y accesibilidad. Este proceso se basa en la absorción de energía de las microondas de 2.45 GHz, que excitan las moléculas de agua dentro del alimento, generando calor y permitiendo la descongelación (Zhou *et al.*, 2024). Sin embargo, debido a la variabilidad en la absorción de energía en diferentes partes de la carne, este método puede provocar calentamiento desigual, lo que afecta la calidad del producto y puede generar zonas donde la carne comienza a cocinarse mientras otras permanecen frías.

##### **3.6.4.1. Ventaja del método de descongelación en microondas**

Es el método más rápido de descongelación, permitiendo que la carne esté lista para cocinar en minutos en comparación con horas en refrigeración o agua fría (Zhou *et al.*, 2024).

##### **3.6.4.2. Desventajas y riesgos de la descongelación en microondas**

Crecimiento bacteriano: si algunas partes de la carne alcanzan temperaturas dentro de la zona de peligro (6°C a 60°C) pero no se cocinan inmediatamente, las bacterias como *Salmonella* y *Escherichia coli* pueden multiplicarse rápidamente, aumentando el riesgo de intoxicación alimentaria.

Pérdida de jugosidad: Debido a la rápida transferencia de calor y la evaporación del agua superficial, la carne puede perder una mayor cantidad de agua retenida, lo que resulta en una textura más seca tras la cocción (Chizoba Ekezie *et al.*, 2017).

### 3.6.4.3. Consideraciones para una descongelación segura en microondas

Jiang *et al.* (2025) identificaron que, para minimizar los riesgos asociados con este método, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

Utilizar la configuración específica de "descongelación": La mayoría de los microondas modernos cuentan con una función diseñada para aplicar pulsos de calor en intervalos, permitiendo un descongelado más uniforme.

Rotar y redistribuir la carne: Detener el proceso y girar la carne o separar piezas descongeladas ayuda a evitar sobrecalentamientos localizados.

Evitar tiempos prolongados sin supervisión: Si la carne comienza a cocinarse, la textura y calidad final del producto pueden verse afectadas. Tal como se puede observar en la *Tabla 1*, se realiza una comparación mediante la descongelación en refrigeración, agua fría y microondas, donde se muestra el tiempo estimado de cada proceso, el riesgo de contaminación y el impacto en la calidad de la carne.

**Tabla 1. Comparación de diferentes métodos de descongelación**

| Método        | Tiempo estimado | Riesgo de contaminación           | Impacto en calidad                        |
|---------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| Refrigeración | 12-24 h         | Bajo                              | Mínimo                                    |
| Agua fría     | 1-3 h           | Moderado                          | Ligera pérdida de jugosidad               |
| Microondas    | 5-15 min        | Alto si no se cocina de inmediato | Posible endurecimiento y cocción desigual |

(Fuente: Zhou *et al.*, 2024)

### 3.6.5. Sistema de tumbler al vacío

El sistema de tumbler al vacío es un proceso altamente controlado que emplea vapor bajo vacío para descongelar carne sin escaldarla ni dañarla, evitando la desnaturalización de las proteínas. Este método permite la descongelación bajo condiciones de vacío, lo que beneficia la flexibilidad operativa al reducir el tiempo de producción. Se ha reportado que este sistema puede descongelar hasta 3,500 kilogramos de carne en aproximadamente 8 horas, pasando de -20°C a 3°C;

Bajo presión atmosférica normal (1 bar), el agua hierve a 100°C, pero bajo condiciones de vacío de un 95% (0,05 bar), el punto de ebullición del agua desciende a aproximadamente 33°C (Li, 2021).

### **3.6.5.1. Descongelación por tecnología de radiofrecuencia (RF)**

La tecnología de radiofrecuencia (RF) utiliza ondas electromagnéticas en el rango de 1-300 MHz para calentar la carne de manera más uniforme y eficiente en comparación con los métodos tradicionales (Anese *et al.*, 2012). Este método permite un control preciso de la temperatura, reduciendo el riesgo de crecimiento bacteriano y minimizando la pérdida de calidad del producto.

### **3.6.5.2. Ventajas de la descongelación por RF:**

Sun *et al.* (2023), mencionan algunas de las ventajas de la descongelación por RF, como son las siguientes:

Rapidez: puede reducir los tiempos de descongelación desde varias horas a solo unos cuantos minutos, dependiendo del tamaño y el tipo de producto.

Distribución homogénea del calor: evita el problema del calentamiento desigual, común en otros métodos como el microondas convencional.

Reducción del crecimiento microbiano: al minimizar el tiempo que la carne pasa en la zona de peligro (6°C - 60°C), disminuye la proliferación de bacterias como *Salmonella* y *Listeria monocytogenes*.

Menor pérdida por descongelación, recuentos viables totales más bajos y mejor color, textura, microestructura y estabilidad térmica.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Obtención y preparación de las muestras**

Se realizó un estudio sobre 12 muestras de pancetas de cerdo (por triplicado) tomando una para cada tratamiento de descongelado, dichas pancetas fueron donadas por la empresa Forrajes y Carnes de Santiago Tulantepec SPR. de RL (Carnex).

El proceso de congelación y descongelación de la carne se realizó en el Laboratorio-Taller del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH).

Para evaluar los distintos parámetros de calidad, las muestras utilizadas (pancetas) fueron previamente codificadas y pesadas en báscula digital Torrey modelo PCR-20 (Monterrey Nuevo León, México). Para cada tratamiento de descongelado se midieron distintos parámetros de calidad las cuales fueron: mermas por descongelado, pH, color y la capacidad de retención de humedad (CRA) estas mediciones se hicieron en crudo, después del congelado y después del cocido.

### **4.2. Diseño de tratamientos**

Las muestras fueron congeladas en un congelador marca Torrey modelo CH1S6A (Monterrey Nuevo León, México) a una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  durante cuatro días. Posterior a este proceso, cada muestra fue sometida a un tratamiento de descongelación distinto, las cuales fueron; descongelado a temperatura ambiente, descongelado en cámara de refrigeración, descongelado por inmersión de agua con sal, descongelado mediante sistema de vacío en tumbler.

Para evaluar de manera precisa el efecto de los diferentes tratamientos en la calidad fisicoquímica del tocino ahumado durante el proceso de descongelado, se utilizaron cuatro muestras representativas, estas muestras fueron sometidas a distintos tratamientos de descongelado. Los tratamientos fueron elegidos con el objetivo de identificar posibles variaciones en parámetros clave, como textura, color, capacidad de retención de agua. A continuación, se describe en detalle los métodos de

descongelado aplicados a las muestras, incluyendo las condiciones específicas de tiempo, temperatura y equipos utilizados durante el proceso.

#### **4.2.1. Descongelado a temperatura ambiente**

Para el método control, este consistió en someter las pancetas previamente codificadas e individualmente congeladas a un proceso de descongelado a temperatura ambiente. Primero cada panceta fue retirada cuidadosamente del congelador para evitar daños físicos, y posteriormente se pesó con una báscula Torrey modelo PCR-20 (Monterrey, Nuevo León, México), con el propósito de registrar su peso inicial. Una vez realizado este paso, se colocaron las muestras en una tina de acero inoxidable de grado alimenticio, diseñada para evitar cualquier tipo de contaminación cruzada. La tina se posicionó en un área controlada donde la temperatura ambiental oscilaba entre 18 y 26 °C, el tiempo total de exposición a temperatura ambiente fue de 20 horas, periodo seleccionado para permitir el descongelado completo de las muestras.

#### **4.2.2. Descongelado en cámara de refrigeración**

En este método, otra muestra de panceta previamente codificada y congelada fue sometida a un proceso de descongelado controlado en cámara de refrigeración. Como paso inicial, la panceta fue retirada cuidadosamente del congelador, posteriormente, se procedió a pesar la muestra utilizando una báscula Torrey mod. PCR-20 (Monterrey, Nuevo León, México). Una vez pesada, la muestra fue colocada dentro de una tina de acero inoxidable de grado alimenticio. Esta tina fue transferida a una cámara de refrigeración mantenida a una temperatura constante entre 4 y 6°C. El proceso de descongelado se llevó a cabo durante un periodo de 20 horas, tiempo suficiente para permitir el descongelado gradual y homogéneo de la muestra. Durante este tiempo, se monitoreo regularmente la temperatura interna de la cámara utilizando termómetros calibrados para garantizar la estabilidad de las condiciones experimentales.

#### **4.2.3. Descongelado por inmersión en agua con sal**

El tercer tratamiento implementado para el descongelado de la panceta consistió en un proceso de inmersión en una solución de agua con sal (NaCl) al 1% (Peso/Volumen). Inicialmente, la muestra de panceta, previamente codificada y congelada fue retirada del congelador y sometida a un pesaje utilizando una báscula Torrey mod. PCR-20 (Monterrey, Nuevo León, México). Posteriormente fue colocada en una tina de acero inoxidable de grado alimenticio. La tina contenía una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 1% en agua destilada, la cantidad de solución utilizada fue equivalente al doble de peso de la muestra, con el objetivo de cubrir completamente la panceta y permitir un descongelado uniforme. Esta inmersión se realizó dentro de una cámara de refrigeración mantenida a una temperatura controlada de 4 a 6 °C, el tiempo total de inmersión fue de 20 horas.

#### **4.2.4. Descongelado mediante sistema de vacío en tumbler**

Un cuarto tratamiento implementado para el descongelado de la panceta consistió en el uso de un tumbler con sistema de vacío, una técnica avanzada diseñada para optimizar el proceso de descongelado mediante la combinación de vacío, agitación y contacto con una solución funcional. Inicialmente, la panceta congelada fue retirada del almacenamiento y fue pesada en una báscula Torrey mod. PCR-20 (Monterrey, Nuevo León, México). Posteriormente, la muestra fue colocada en un tumbler con sistema de vacío marca Edel Ingenieros modelo K-30, (Monterrey Nuevo León, México). El tratamiento se realizó a una presión manométrica de 400 mmHg con una solución que consistió en una mezcla preparada que incluía Sal (NaCl) y polifosfatos de sodio, ambos al 0.5% (Peso/Volumen), la proporción de la solución utilizada fue equivalente al doble del peso de la muestra, el proceso tuvo una duración de 20 horas.

El resumen de los tratamientos utilizados durante el proceso de descongelación, así como las condiciones a las cuales fueron sometidas cada una de las muestras se concentra en la *Tabla 2*.

**Tabla 2. Tratamientos utilizados durante el proceso de descongelación de las muestras.**

| Tratamiento   | Aditivos                                                       | Tiempo | Temperatura |
|---------------|----------------------------------------------------------------|--------|-------------|
| T. ambiente   |                                                                | 20 h   | 18 a 26°C   |
| Refrigeración |                                                                | 20 h   | 4°C         |
| Agua con sal  | NaCl 1%                                                        | 20 h   | 4°C         |
| Al vacío      | NaCl 0.5%, Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> 0.5% | 20 h   | 18 a 26°C   |

### 4.3. Parámetros de calidad evaluados antes y después del descongelado

#### 4.3.1. pH

La medida de pH se llevó a cabo en dos etapas del proceso; la primera en la muestra antes del congelado y la segunda medición se realizó después del proceso de descongelado con ayuda de un medidor digital potenciómetro Hanna™ modelo HI99163 (Romania) y soluciones buffer de pH 4.00 y 7.00. Una vez calibrado el instrumento con ayuda de las soluciones tampón, el electrodo unido a una navaja cortante para permitir la penetración en la carne y facilitar la determinación del valor de pH fue colocado al centro de cada panceta, las mediciones fueron tomadas por triplicado en diferentes puntos de cada muestra obteniendo los valores después de unos cuantos segundos de espera, posteriormente se limpió el electrodo con agua destilada para realizar nuevas mediciones.

#### 4.3.2. Determinación del color instrumental

La determinación de los parámetros de color en las muestras del tocino se realizó con un colorímetro digital marca 3NH Modelo NR110 (Zeng Cheng, Guangzhou, China), las mediciones se realizaron considerando un espacio tridimensional en los ejes L\* (luminosidad), a\* (índice de rojos y verdes) y b\* (índice de amarillos y azules). El color fue determinado en las zonas con mayor contenido de carne evitando las zonas grasas. Se utilizaron cinco puntos diferentes en cada muestra.

### 4.3.3. Capacidad de retención de humedad (CRA)

Para determinar la capacidad de retención de agua (CRA) la técnica elegida fue la de Grau y Hamm (1957) con la modificación de Volovinskaya (Solorev, 1968). La valoración de la cantidad de jugo exprimido se calculó a partir del incremento del peso del papel. Los materiales empleados fueron papel filtro, pizas de disección, placas de acrílico y frascos de 1 kg peso neto. El procedimiento se llevó a cabo pesando primero el papel filtro para posteriormente colocar aproximadamente 300 miligramos de carne, después se le aplicó presión de 1 kilogramo por medio de dos placas de acrílico durante 10 minutos. Una vez transcurrido ese tiempo, se retiró con cuidado la muestra procurando no dejar restos adheridos al papel filtro y este fue pesado nuevamente.

La capacidad de retención de agua se obtuvo con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de agua libre: } \frac{(\text{peso final papel} - \text{peso inicial papel}) \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{CRA: } 100 - \% \text{ de agua libre}$$

## 4.4. Elaboración del tocino ahumado

Como se mencionó anteriormente, una vez descongeladas las pancetas, se procedió a medir diversas características fisicoquímicas clave, incluyendo el pH, el peso, la capacidad de retención de agua (CRA) y el color. Posteriormente, las pancetas fueron sometidas al proceso de inyección de salmuera como etapa previa a su curado, cocción y ahumado.

Se utilizó una unidad integral de inyección para tocino (UM-913) distribuida por la empresa Fabpsa S.A de C.V. La preparación de la salmuera se realizó en un agitador de salmuera marca Mendoza (La paz, Baja California, México). Preparada la salmuera, esta fue inyectada en las pancetas mediante una inyectora automática de baja presión, equipada con 35 agujas de la marca Mendoza (La Paz, Baja California, México). El equipo fue programado para trabajar a una presión de 2 bares y operar con una velocidad de 60 golpes por minuto (GPM). Las pancetas fueron inyectadas tomando como referencia una ganancia de peso del 60% respecto a su peso inicial. Sin

embargo, debido a diferencias en la capacidad de absorción y retención de salmuera, la ganancia de peso obtenida varió entre las pancetas.

Una vez inyectadas las pancetas, se midió el rendimiento del proceso en cada uno de los tratamientos. Posteriormente, las pancetas se sometieron a un proceso de curado por inmersión en salmuera durante un periodo de 12 horas. Antes de iniciar las etapas de cocción y ahumado, se registró nuevamente el peso de las pancetas para calcular la purga generada durante el proceso de curado en cada uno de los tratamientos aplicados.

El proceso de cocción se llevó a cabo en una paila de la marca Mendoza (La Paz, Baja California, México), utilizando un sistema de calentamiento por vapor. La paila fue ajustada para operar a una temperatura constante de 75°C, durante un periodo de aproximadamente 3.5 horas, hasta que la temperatura interna de las piezas alcanzó los 72°C. Una vez finalizada la cocción, las pancetas fueron sometidas a un proceso de ahumado en frío por aspersión. Finalmente, las pancetas cocidas y ahumadas se enfriaron a temperatura ambiente antes de ser envasadas al vacío. Las muestras fueron envasadas al vacío (mod. EDV-48, Torrey, Nuevo León, México), y almacenadas bajo condiciones de refrigeración constante a 4-6°C, utilizando un equipo modelo R36L de la marca Torrey (Nuevo León, México). El almacenamiento se realizó durante tres periodos establecidos: 1, 20 y 40 días.

#### 4.4.1. Rendimiento a la inyección

Para el cálculo del rendimiento o absorción de salmuera tras el proceso de inyección, se pesó la panceta cruda antes del proceso en una báscula Torrey mod. PCR-20 (Monterrey, Nuevo León, México). Finalmente, después de la inyección, se volvió a pesar la panceta para determinar su rendimiento.

El rendimiento de la inyección se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inyección: } \frac{(\text{peso final} - \text{peso inicial})}{\text{peso inicial}} \times 100$$

#### 4.4.2. Purga

El cálculo de la purga de líquidos se realizó midiendo la diferencia de peso de la panceta antes y después del proceso de curado tras 12h de inmersión en salmuera. El objetivo fue valorar el grado de retención de la salmuera. Se pesó la panceta después de la inyección de salmuera, asegurando que el exceso de líquido superficial haya sido escurrido, se volvió a pesar la panceta para obtener el peso final.

La purga de líquidos se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de purga: } \frac{(\text{peso después de la inyección} - \text{peso después del curado})}{\text{peso después de la inyección}} \times 100$$

#### 4.4.3. Rendimiento al cocimiento

Para el cálculo de rendimiento al cocimiento, este se calculó a partir de las muestras crudas y después de obtener el producto terminado (tocino ahumado), es decir después de haber transcurrido el proceso de cocción, ahumado y enfriamiento de las piezas.

El rendimiento al cocimiento se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de rendimiento: } \frac{(\text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100$$

#### 4.5. Análisis microbiológicos

Se determinaron microorganismos aerobios mesófilos y coliformes totales como microorganismos indicadores de las condiciones microbiológicas de las muestras. Una vez concluido el proceso de elaboración del tocino, incluyendo las etapas de cocción y ahumado, se tomaron muestras del producto terminado para realizar los análisis microbiológicos.

La preparación de las muestras y obtención de las respectivas diluciones se llevaron a cabo bajo indicaciones de la NOM 110-SSA1-(1994) la cual establece

procedimientos para la preparación y dilución de muestras en alimentos para análisis microbiológicos.

Se pesaron 10g de tocino de cada muestra en una balanza analítica (Voyager Pro modelo E12140, Zúrich, Suiza) y se diluyeron en 90ml de agua peptonada estéril, la cual contenía 1g (0,1%) de peptona por cada 1 l de agua destilada. La muestra se homogenizó en una bolsa Stomacher durante dos minutos. De esta primera dilución, se realizaron dos diluciones más ( $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ), necesarias para el recuento de los grupos de microorganismos que se analizaron.

Entre los grupos microbianos evaluados se incluyeron los mesófilos aerobios y los coliformes totales mediante la prueba del Número Más Probable (NMP).

Para la determinación de microorganismos aerobios mesófilos en placa, se empleó la técnica de recuento total en placa conforme a lo estipulado en la NOM-092-SSA1-1994. A partir de la serie de diluciones obtenidas se añadió en cada caja de Petri aproximadamente 15-20 ml del medio de cultivo Agar Standard Plate Count (CM 0463, Oxoid Ltd., Basingstoke, Hampshire, Reino Unido), el cual previamente fue diluido en agua destilada y esterilizado a 121°C durante 15 minutos. El medio se dejó solidificar manteniendo las placas sobre una superficie horizontal para posteriormente depositar usando puntas estériles y una micropipeta, 1 ml de cada dilución (método de siembra en superficie) y se extendió con ayuda de una varilla de Driglaski, previamente esterilizada por flameado en todas las direcciones. Una vez solidificadas las placas se incubaron en posición invertida a 35°C durante 48 horas en una incubadora Quincy Lab. Modelo 12-140, Chicago Illinois, USA.

Para la determinación de microorganismos coliformes totales mediante la prueba del número más probable (NMP), se prepararon 3 diluciones para asegurar que todos los tubos correspondientes a la última dilución rindieran un resultado negativo. Se realizó una prueba presuntiva colocando en 9 tubos de ensayo con 10-15 ml del medio de cultivo Caldo Lauril Sulfato Triptosa previamente diluido, llevado a ebullición y enfriado a 45°C, se colocaron las campanas (Durham) asegurando no hubiera presencia de aire al interior. Se inoculó por triplicado 1 ml de la muestra líquida de cada una de las diluciones en los tubos de ensayo que contenían el medio. Los tubos previamente

agitados con vortex fueron colocados en la incubadora a 35°C durante 48h para verificar la presencia de gas. Al no haber la formación de gas en ninguno de los tubos se omitió realizar la prueba confirmativa.

#### **4.6 Análisis estadístico**

Se utilizó un diseño completamente aleatorio para determinar el efecto del método de descongelación en la calidad del tocino ahumado. Se realizó un análisis descriptivo de los datos y una prueba de comparación de medias de Tukey de un solo factor para determinar las diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ), utilizando el software Minitab versión 21 (Minitab Inc., State College, PA, EE. UU.).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *Tabla 3*, se muestran los valores promedio y las desviaciones estándar de los parámetros más relevantes para la evaluación de la calidad de las pancetas de cerdo sometidas a diferentes métodos de descongelación. Los parámetros evaluados fueron el pH, la capacidad de retención de agua (CRA), la merma por descongelado, el rendimiento a la inyección, la purga durante el proceso de curado en húmedo y el rendimiento al cocimiento (PT). Se analizan cuatro tratamientos: control (descongelado a temperatura ambiente), cámara de refrigeración, sal y tumbler.

**Tabla 3. Merma por descongelado, pH, capacidad de retención de humedad (CRA), rendimiento a la inyección, purga y rendimiento al cocimiento en pancetas de cerdo.**

| Variable         | Control                  | Cámara                   | Sal                       | Tumbler                  |
|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Merma (%)</b> | 5.37±0.56 <sup>a</sup>   | 3.18±1.54 <sup>bc</sup>  | 1.84±0.47 <sup>c</sup>    | 3.42±1.38 <sup>b</sup>   |
| <b>pH</b>        | 6.29±0.89                | 6.23±0.86                | 6.34±0.80                 | 6.30±0.60                |
| <b>CRA</b>       | 66.38±6.73 <sup>a</sup>  | 62.50±7.53 <sup>ab</sup> | 61.28±8.30 <sup>ab</sup>  | 56.13±7.06 <sup>b</sup>  |
| <b>Iny (%)</b>   | 72.70±7.00 <sup>a</sup>  | 58.00±15.22 <sup>b</sup> | 60.70± 8.23 <sup>ab</sup> | 69.00±7.40 <sup>ab</sup> |
| <b>Purga</b>     | 7.05±1.75                | 6.40±1.45                | 7.33±5.70                 | 5.30±3.00                |
| <b>PT (%)</b>    | 23.37±2.50 <sup>ab</sup> | 20.38±5.40 <sup>b</sup>  | 29.50±7.92 <sup>a</sup>   | 28.80±5.12 <sup>a</sup>  |

Trat: Tratamiento; Iny %: rendimiento a la inyección; PT: rendimiento al cocimiento en producto terminado

a, b: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas

### 5.1. Merma por descongelado

La merma por descongelado es un indicador de las pérdidas de peso debido a la liberación de líquidos durante este proceso. Respecto a las mermas por descongelado en los tratamientos utilizados se muestran diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ). La merma fue mayor en el tratamiento Control (5.37%), donde las pancetas se descongelaron a temperatura ambiente ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$ ) durante las 24 horas. Esto se puede deber al rápido deshielo superficial que provoca pérdidas de agua. Por otro lado, los tratamientos de descongelado en Cámara (3.18%) y Tumbler (3.42%) presentaron una merma significativamente menor, lo cual puede atribuirse a la descongelación lenta y

controlada que minimiza el daño a la estructura muscular y reduce las pérdidas por goteo (Cheng & Sun, 2008).

El menor porcentaje de merma se observó en el tratamiento de descongelado mediante la inmersión en Agua con Sal (1.84%). Esto está relacionado con la inmersión en solución salina al 1%, que crea un gradiente osmótico que permite una ligera absorción de agua durante el proceso de descongelado; lo que quiere decir, que la descongelación con sal favorece la retención de líquidos, posiblemente por la interacción de los iones con las proteínas musculares, mejorando la retención de agua (Strawbridge & Strawbridge, 2012; Gaian, 2014).

## **5.2. pH**

El pH es un parámetro fundamental que afecta tanto la calidad como la funcionalidad de los productos cárnicos. En este estudio, los valores de pH variaron entre 6.23 y 6.34, sin diferencias estadísticamente significativas ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos. Estos valores están dentro del rango esperado para productos cárnicos curados y cocidos, donde el proceso de curación y los aditivos utilizados pueden contribuir a mantener un pH estable (Hernández, 2016).

Como se mencionó anteriormente, los valores de pH no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se observó una ligera estabilidad en los tratamientos con Sal y en Tumbler, posiblemente debido al efecto tamponante del fosfato de sodio y la solución salina; este efecto contribuye a mantener un pH óptimo para la calidad del producto final, en comparación con el método Control, donde la fluctuación de temperatura puede favorecer reacciones bioquímicas no deseadas (Hernández, 2016).

## **5.3. Capacidad de retención de agua (CRA)**

La capacidad de retención de agua (CRA) es una propiedad funcional importante de la carne, ya que influye en el rendimiento del proceso y en las características de calidad del producto final (Fennema, 1990). En el presente estudio, el tratamiento de descongelación a temperatura ambiente (control) presentó la mayor CRA (66.38%),

mientras que el tratamiento con tumbler mostró el menor valor (56.13%) ( $P<0.05$ ). Los tratamientos de descongelado en cámara de refrigeración (62.50%) y agua con sal (61.28%) presentaron valores intermedios, sin diferencias estadísticas respecto a los tratamientos extremos.

Aunque diversos autores han señalado que la presencia de sales puede incrementar la capacidad de retención de agua mediante el aumento de la fuerza iónica y la solubilización parcial de proteínas miofibrilares (Cheng y Sun, 2008), en este estudio el tratamiento con agua con sal no presentó valores superiores al tratamiento a temperatura ambiente. Esto sugiere que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, el efecto del método de descongelación sobre la CRA fue más complejo y no dependió exclusivamente de la presencia de sal en el medio de descongelación.

Es importante señalar que la merma por descongelación y la CRA representan fenómenos distintos. Mientras la merma cuantifica el agua perdida durante el proceso de descongelación, la CRA determinada por el método de presión evalúa la capacidad del tejido muscular para retener el agua remanente cuando se aplica una fuerza externa. Por ello, ambos parámetros no necesariamente presentan una relación inversa directa y deben interpretarse de manera complementaria.

#### **5.4. Rendimiento a la inyección**

El rendimiento a la inyección varió significativamente entre los tratamientos ( $P<0.05$ ), siendo mayor en el tratamiento Control (72.70%) y Tumbler (69.00%), probablemente por una mayor capacidad de absorción en las fibras musculares relajadas tras el proceso de descongelación rápida o bajo vacío.

En contraste, el tratamiento de descongelado en Cámara (58.00%) mostró un menor rendimiento, posiblemente debido a que la descongelación lenta afecta la capacidad de absorción durante la inyección (Armerling, 2001).

#### **5.5. Purga**

La purga mide la pérdida de líquidos durante el proceso de curado en húmedo posterior a la inyección. La purga fue mayor en el tratamiento de descongelado por inmersión

en Agua con Sal (7.33%), posiblemente por el exceso de absorción inicial de agua durante la inmersión en la solución salina, que posteriormente se libera durante el almacenamiento.

El tratamiento de descongelado en Tumbler (5.30%) mostró la menor purga, lo que indica que el uso de fosfatos y el vacío minimizan las pérdidas de agua, estabilizando la estructura muscular (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005)

## **5.6. Rendimiento al Cocimiento**

El rendimiento al cocimiento es fundamental para la industria cárnica, ya que determina la eficiencia de los procesos y la calidad final del producto. Los tratamientos de descongelado en Tumbler (28.80%) y por inmersión en Agua con Sal (29.50%) presentaron un mayor rendimiento al cocimiento ( $P < 0.05$ ), lo que sugiere que estos métodos son eficaces para mantener el contenido de agua durante el procesamiento térmico.

Por el contrario, el tratamiento de descongelado en Cámara (20.38%) tuvo el menor rendimiento, lo que se asocia con mayores pérdidas de agua durante el proceso de cocción, lo que evidencia que el método de descongelación prolongado y las pérdidas iniciales por merma pueden influir negativamente en la retención de agua y el rendimiento durante el cocimiento (Chen & Sun, 2008).

Los resultados de este experimento son consistentes con estudios previos que evalúan métodos de descongelación en carne:

La descongelación a temperatura ambiente provoca mayores pérdidas de agua debido a la rápida transición de hielo a agua en la superficie, aumentando la desnaturalización proteica y las pérdidas por goteo (Llave & Sakai, 2018).

## **5.7. Evaluación de los parámetros de color**

El color es un atributo fundamental en la calidad de los productos cárnicos, ya que influye en la percepción del consumidor y puede estar relacionado con cambios en la estructura u oxidación de la carne. Se analizaron los parámetros de color  $L^*$

(luminosidad),  $a^*$  (rojo-verde) y  $b^*$  (amarillo-azul) en las pancetas descongeladas bajo los diferentes métodos utilizados. En la *Tabla 4*, se muestran los resultados del color medido de manera instrumental durante los procesos del descongelado de las piezas.

**Tabla 4. Evaluación de los parámetros del color durante los distintos métodos de descongelación de las pancetas.**

| Tratamiento | Control                   | Cámara                     | Sal                       | Tumbler                    |
|-------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>L</b>    | 46.67 ± 3.60 <sup>c</sup> | 49.50 ± 4.31 <sup>bc</sup> | 57.31 ± 1.00 <sup>a</sup> | 53.37 ± 0.56 <sup>ab</sup> |
| <b>a</b>    | 5.12 ± 2.02 <sup>a</sup>  | 5.93 ± 1.42 <sup>a</sup>   | 1.91 ± 1.40 <sup>b</sup>  | 2.65 ± 2.12 <sup>b</sup>   |
| <b>b</b>    | 4.85 ± 1.81 <sup>ab</sup> | 5.44 ± 1.33 <sup>a</sup>   | 2.35 ± 1.18 <sup>c</sup>  | 3.66 ± 1.53 <sup>bc</sup>  |

L\*: Luminosidad,  $a^*$ : Índice de rojo-verde,  $b^*$ : Índice de amarillo-azul

a, b: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas

### 5.7.1. Luminosidad ( $L^*$ )

El valor  $L^*$  indica el nivel de claridad u oscuridad de la carne, donde valores más altos representan mayor luminosidad.

El tratamiento de descongelado por medio de la inmersión en agua con sal (1%), presentó la mayor luminosidad ( $P < 0.05$ ), con valor de 57.31, lo que sugiere que la inmersión en solución salina contribuyó a un color más claro en la carne. Esto podría explicarse por una mayor hidratación superficial o cambios en la estructura de la miofibrilla que reflejan más luz.

Por otro lado, el tratamiento Control, tuvo la menor luminosidad (46.67), lo que indica un posible oscurecimiento debido a la oxidación y la desnaturalización proteica durante el descongelado a temperatura ambiente.

El método de descongelado en cámara de refrigeración y tumbler (49.50 y 53.37) respectivamente mostraron valores intermedios, lo que sugiere que el control de temperatura y la presencia de vacío ayudaron a reducir el oscurecimiento.

Estos resultados coinciden con estudios previos, donde la descongelación lenta en refrigeración mantiene la luminosidad en niveles moderados, mientras que la inmersión en salmuera puede aclarar la carne por efectos osmóticos (Wang *et al.*, 2025). Los valores de  $L^*$  más altos observados en los tratamientos con inmersión en salmuera pueden atribuirse a la mayor retención de humedad en la superficie del producto, lo que genera un color más pálido en comparación con la carne no sometida a

congelación y descongelación. Este fenómeno ha sido descrito en estudios sobre productos cárnicos y pesqueros, donde la pérdida de agua y la redistribución de esta tras la descongelación afectan la reflectancia de la luz y, en consecuencia, la percepción del color (Wang *et al.*, 2025)

### **5.7.2. Intensidad de rojo ( $a^*$ )**

El valor  $a^*$  está relacionado con la intensidad del color rojo, el cual es un indicador de la frescura y estabilidad de la mioglobina en los productos cárnicos. En cuanto a los valores del índice de rojos se muestran diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ). En los tratamientos de descongelado Control (5.12) y en Cámara de Refrigeración (5.93) presentaron los mayores valores de  $a^*$ , lo que indica una mayor retención del color rojo. Esto sugiere que la descongelación en estas condiciones favoreció la estabilidad de la mioglobina (Zhang *et al.*, 2024)

En contraste, el tratamiento de descongelado en Agua con Sal, mostró la menor intensidad de rojo (1.91), lo que puede deberse a la dilución de pigmentos durante la inmersión en agua con sal, reduciendo la concentración de mioglobina en la superficie

El tratamiento de descongelado en Tumbler tuvo un valor intermedio (2.65), similar al tratamiento anterior, esto posiblemente puede ocurrir por la combinación de vacío y la solución salina, que minimizó la oxidación, pero también afectó la intensidad del color rojo (Zhang *et al.*, 2024)

### **5.7.3. Intensidad de amarillo ( $b^*$ )**

El parámetro  $b^*$  refleja la intensidad del tono amarillo en la carne, relacionado con procesos oxidativos de lípidos y proteínas.

En el índice de amarillos también se muestran diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ). El tratamiento de descongelado en Cámara mostró el valor más elevado de  $b^*$  (5.44), lo que podría indicar un inicio de oxidación lipídica, ya que los pigmentos oxidativos pueden intensificar los tonos amarillos en la carne.

El tratamiento Control tuvo un valor intermedio (4.85), lo que indica una oxidación moderada debido a la exposición prolongada al aire durante el descongelado. Los valores más bajos de  $b^*$  se observaron en los tratamientos de descongelado en Agua

con Sal (2.35) y el descongelado en Tumbler (3.66). La menor oxidación lipídica en estos tratamientos podría deberse a la presencia de sal y fosfatos, que pueden tener efectos antioxidantes al estabilizar las membranas celulares (Cheng & Ockerman, 2003; Ali *et al.*, 2023)

Otros investigadores como (Leygonie & Hoffman, 2020; Park & Kim, 2024; Xue, *et al.*, 2025) han demostrado que la exposición prolongada al oxígeno y temperaturas inadecuadas durante el descongelado pueden intensificar los tonos amarillos debido a la oxidación lipídica.

En resumen, respecto a las mediciones del color de las pancetas descongeladas, en el tratamiento de descongelado en Agua con Sal, resultó en pancetas más claras (mayor luminosidad) pero con menor intensidad de rojo (menor  $a^*$ ), probablemente debido a la absorción de agua y la dilución de la mioglobina. El tratamiento Control mostró menor luminosidad y una oxidación moderada, lo que lo hace menos deseable en términos de apariencia visual. El tratamiento Cámara presentó el mayor valor de amarillo ( $b^*$ ), lo que podría ser indicativo de un inicio de oxidación lipídica. Finalmente, el tratamiento Tumbler mostró valores intermedios en los tres parámetros, con lo que se podría sugerir que el vacío y la solución salina ayudan a mantener la estabilidad del color.

**Tabla 5. Cuenta total y coliformes totales del tocino ahumado según el método de descongelación**

| Tratamiento  | Mesofilos aerobios<br>(log UFC/g) | Coliformes totales<br>(NMP) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Control      | 3.67                              | 240                         |
| Cámara       | 3.15                              | 7.3                         |
| Agua con Sal | 3.39                              | No detectado                |
| Tumbler      | 3.92                              | 19                          |

Log UFC/g: Logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo

NMP: Número más probable

Los resultados microbiológicos del tocino ahumado mostraron variación en los indicadores microbiológicos evaluados de acuerdo con el método de descongelación empleado. El recuento de mesófilos aerobios presentó valores de 3.15 a 3.92 log UFC/g, correspondientes a los tratamientos Cámara y Tumbler, respectivamente. El tratamiento Control presentó un valor de 3.67 log UFC/g, mientras que Agua-Sal

mostró 3.39 log UFC/g. Por otro lado, los coliformes totales presentaron valores de 240, 7.3, 0 y 19 NMP/g para los tratamientos Control, Cámara, Agua-Sal y Tumbler, respectivamente.

El mayor recuento de mesófilos aerobios se observó en el tratamiento Tumbler (3.92 log UFC/g), mientras que el menor correspondió al tratamiento Cámara (3.15 log UFC/g). Debido a que en este estudio no se realizaron determinaciones microbiológicas de la materia prima antes y después de cada tratamiento de descongelación, estos resultados deben interpretarse como diferencias observadas en el producto terminado y no como evidencia directa de crecimiento microbiano durante la descongelación. No obstante, las condiciones de tiempo y temperatura durante el descongelado pueden influir en la calidad microbiológica de la carne. Park y Kim (2024) observaron que las condiciones de descongelación modificaron la calidad microbiológica de carne de res, encontrando un mayor recuento de bacterias aerobias en muestras descongeladas a temperatura ambiente que en las descongeladas bajo refrigeración. Estos resultados respaldan la importancia del control de las condiciones de descongelación como parte del manejo de la carne congelada.

En cuanto a los coliformes totales, el tratamiento Control presentó el mayor recuento (240 NMP/g), seguido de Tumbler (19 NMP/g) y Cámara (7.3 NMP/g), mientras que en Agua-Sal no se detectaron coliformes totales bajo las condiciones del ensayo. El mayor valor observado en el tratamiento Control puede estar relacionado con la exposición de la materia prima a temperaturas ambiente durante el descongelado, condición que puede favorecer la multiplicación de microorganismos cuando se prolonga el tiempo de permanencia en temperaturas favorables para su desarrollo. Sin embargo, debido a que el análisis microbiológico se realizó sobre el producto después de las etapas de procesamiento, cocción y ahumado, no es posible atribuir exclusivamente al descongelado las diferencias observadas en el producto terminado. También deben considerarse factores posteriores al descongelado, como la manipulación, la inyección, el curado, las superficies y equipos utilizados y la posibilidad de contaminación cruzada durante el procesamiento.

Aunque el tratamiento Tumbler presentó el mayor recuento de aerobios mesófilos (3.92 log UFC/g), su concentración de coliformes totales fue de 19 NMP/g, inferior a la observada en el Control. El uso de vacío y de ingredientes de curado, incluidos los fosfatos, puede modificar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del producto. Los fosfatos utilizados en productos cárnicos han sido descritos por sus efectos funcionales y por presentar propiedades antioxidantes y antimicrobianas, particularmente cuando se combinan con otras barreras de conservación, aunque dichos efectos dependen del tipo y concentración del fosfato, de la formulación y de las condiciones de procesamiento y almacenamiento (Şimşek & Kılıç, 2017). Por ello, en el presente estudio no es posible atribuir el comportamiento microbiológico del tratamiento Tumbler exclusivamente al vacío o a la presencia de fosfatos.

Los resultados obtenidos muestran, que los métodos de descongelación estuvieron asociados con diferencias en los indicadores microbiológicos determinados en el tocino terminado, aunque estas diferencias deben interpretarse de manera descriptiva debido a que no se realizó un seguimiento microbiológico durante las diferentes etapas del proceso. El tratamiento a temperatura ambiente presentó el mayor recuento de coliformes totales, mientras que el tratamiento en Cámara presentó el menor recuento de aerobios mesófilos. Estos resultados resaltan la importancia de controlar el tiempo y la temperatura durante la descongelación y de mantener buenas prácticas de higiene durante las etapas posteriores del procesamiento.

Los coliformes totales constituyen un grupo de microorganismos indicadores y su determinación no permite establecer por sí sola la presencia de microorganismos patógenos ni sustituye el análisis específico de microorganismos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* o *Listeria monocytogenes*. En consecuencia, los valores obtenidos en este estudio permiten caracterizar el comportamiento de los indicadores microbiológicos evaluados, pero no deben utilizarse de manera aislada para establecer que un método de descongelación es "más seguro" que otro desde el punto de vista de la inocuidad del producto.

## 6. CONCLUSIONES

El método de descongelación influyó significativamente en la merma, la capacidad de retención de agua (CRA), el rendimiento a la inyección y el rendimiento al cocimiento de las pancetas de cerdo. En contraste, el pH y la purga no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

La descongelación en agua con sal al 1% presentó la menor merma (1.84%), mientras que la descongelación a temperatura ambiente presentó la mayor (5.37%). La refrigeración y el Tumbler presentaron valores intermedios. Estos resultados indican que el método de descongelación puede modificar las pérdidas de peso durante esta etapa y la eficiencia del proceso.

La CRA presentó diferencias entre los tratamientos, siendo mayor en las pancetas descongeladas a temperatura ambiente (66.38%) y menor en las sometidas al Tumbler (56.13%), mientras que refrigeración y agua con sal presentaron valores intermedios. Por lo tanto, bajo las condiciones evaluadas, la presencia de sal durante la descongelación no produjo un incremento de la CRA respecto al tratamiento control.

El pH no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de descongelación, con valores de 6.23 a 6.34. Esto indica que, bajo las condiciones experimentales utilizadas, el método de descongelación no modificó de manera significativa este parámetro.

El rendimiento a la inyección presentó diferencias significativas entre tratamientos. El mayor valor se obtuvo en el tratamiento Control (72.70%), mientras que el menor correspondió a la descongelación en Cámara (58.00%); Agua con Sal y Tumbler presentaron valores intermedios.

La purga generada durante el curado no presentó diferencias estadísticamente significativas, aunque el tratamiento Tumbler presentó la menor pérdida de líquido (5.30%) y Agua con Sal la mayor (7.33%). Por ello, estas diferencias numéricas deben interpretarse únicamente de manera descriptiva.

El rendimiento al cocimiento fue significativamente mayor en los tratamientos Agua con Sal (29.50%) y Tumbler (28.80%), mientras que la descongelación en Cámara presentó el menor rendimiento (20.38%). Esto indica que las condiciones de descongelación pueden repercutir en la cantidad de producto obtenido después de las etapas de cocción y ahumado.

El método de descongelación modificó significativamente los parámetros instrumentales de color. El tratamiento Agua con Sal presentó la mayor luminosidad ( $L^*$ ) y la menor intensidad de rojo ( $a^*$ ), mientras que Control y Cámara presentaron los mayores valores de  $a^*$ . Para  $b^*$ , Cámara presentó el mayor valor y Agua con Sal el menor. Estos cambios muestran que las condiciones de descongelación pueden modificar la apariencia visual de la panceta.

Los análisis microbiológicos realizados en el tocino terminado mostraron diferencias descriptivas en los indicadores evaluados. El tratamiento a temperatura ambiente presentó el mayor recuento de coliformes totales (240 NMP/g), mientras que la descongelación en Cámara presentó el menor recuento de aerobios mesófilos (3.15 log UFC/g). En Agua con Sal no se detectaron coliformes totales bajo las condiciones del ensayo. Sin embargo, estos resultados no permiten establecer por sí solos que un método sea más seguro o inocuo que otro, debido a que no se determinaron microorganismos patógenos ni se realizó un seguimiento microbiológico durante las diferentes etapas del proceso.

Estos resultados muestran que no existe un único método de descongelación que optimice todos los parámetros evaluados. Bajo las condiciones experimentales del estudio, la descongelación en agua con sal al 1% destacó por presentar la menor merma y uno de los mayores rendimientos al cocimiento, mientras que la refrigeración mostró un comportamiento favorable en los indicadores microbiológicos evaluados. La selección del método deberá considerar el objetivo del proceso y el equilibrio entre pérdidas por descongelación, rendimiento, características fisicoquímicas y control microbiológico.

## 7. REFERENCIAS

- Ali, M., Aung, S. H., Abeyrathne, E. D. N. S., Park, J. Y., Jung, J. H., Jang, A., Jeong, J. Y., & Nam, K. C. (2023). Quality Enhancement of Frozen Chicken Meat Marinated with Phosphate Alternatives. *Food science of animal resources*, 43(2), 245–268. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e72>
- Anese, M., Manzocco, L., Panozzo, A., Beraldo, P., Foschia, M., & Nicoli, M.C. (2012). Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. *Food Research International*, 46(1), 50–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.025>
- Arp, T., & Delmore, R. (2024). Meat import and export for different countries. In *Encyclopedia of Meat Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00193-9>
- Badri, D., Toublanc, C., Rouaud, O., & Havet, M. (2021). Review on frosting, defrosting and frost management techniques in industrial food freezers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111545. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111545>
- Bax, M.-L., Aubry, L., Ferreira, C., Daudin, J.-D., Gatellier, P., Rémond, D., & Santé-Lhoutellier, V. (2012). Cooking Temperature Is a Key Determinant of in Vitro Meat Protein Digestion Rate: Investigation of Underlying Mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(10), 2569–2576. <https://doi.org/10.1021/jf205280y>
- Bedale, W., Sindelar, J.J., Milkowski, A.L., 2016. Dietary nitrate and nitrite: benefits, risks, and evolving perceptions. *Meat Science* 120(10), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.009>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Bekhit, A. E. A., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2021). Thermal processing implications on the digestibility of meat, fish and seafood proteins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4511–4548. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12802>
- Bjørnevik, M., Cardinal, M., Vallet, J. L., Nicolaisen, O., & Arnarson, G. Ö. (2018). Effect of salting and cold-smoking procedures on Atlantic salmon originating from pre-or post rigor filleted raw material. Based on the measurement of physiochemical characteristics. *LWT*, 91, 431–438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.047>
- Bojnec, Š., & Fertő, I. (2014). Meat export competitiveness of European Union countries on global markets. *Agricultural and Food Science*, 23(3), 194–206. <https://doi.org/10.23986/afsci.9373>
- Cheng, J. H., & Ockerman, H. W. (2003). Effect of phosphate with tumbling on lipid oxidation of precooked roast beef. *Meat science*, 65(4), 1353–1359. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00057-3)

- Cheng, Q. & Sun, D.W. (2008). Factors Affecting the Water Holding Capacity of Red Meat Products: A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2), 137–159. <https://doi.org/10.1080/10408390601177647>
- Chizoba Ekezie, F.-G., Sun, D.-W., Han, Z., & Cheng, J.-H. (2017). Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.014>
- Coria-Hernández, J., Meléndez-Pérez, R., Méndez-Albores, A., & Arjona-Román, J. L. (2020). Changes in myoglobin content in pork Longissimus thoracis muscle during freezing storage. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 651–668. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5214>
- Dietrich, M., Block, G., Pogoda, J. M., Buffler, P., Hecht, S., & Martin, S. P. (2005). A review: dietary and endogenously formed N-nitroso compounds and risk of childhood brain tumors. *Cancer Causes & Control*, 16(6), 619–635. <https://doi.org/10.1007/s10552-005-0168-y>
- Fennema, O.R. (1990). Comparative water holding properties of various muscle foods. *Journal of Muscle Foods*, 1(4), 363–381. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1990.tb00373.x>
- Ferysiuk, K., & Wójciak, K. M. (2020). Reduction of Nitrite in Meat Products through the Application of Various Plant-Based Ingredients. *Antioxidants*, 9(8), 711. <https://doi.org/10.3390/antiox9080711>
- Gómez-Salazar, J. A., Galván-Navarro, A., Lorenzo, J. M., & Sosa-Morales, M. E. (2021). Ultrasound effect on salt reduction in meat products: a review. *Current Opinion in Food Science*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.030>
- Guo, J., Wang, Q., Chen, C., Yu, H., & Xu, B. (2020). Effects of different smoking methods on sensory properties, free amino acids and volatile compounds in bacon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2984–2993. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10931>
- Hasan, M. A., Uddin, M. B., & Ahmed, S. S. U. (2024). Knowledge, attitudes and practices of meat hygiene among slaughterhouse workers and retail meat sellers in Bangladesh. *Heliyon*, 10(22), e40066. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40066>
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>

- Jenson, I., & Sumner, J. (2012). Performance standards and meat safety — Developments and direction. *Meat Science*, 92(3), 260–266.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.015>
- Jiang, L., Liu, D., Wang, W., Ruiling Lv, Yu, S., & Zhou, J. (2025). Advancements and perspectives of novel freezing and thawing technologies effects on meat: A review. *Food Research International*, 115942–115942.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115942>
- Kang, J., Tang, S., Liu, R. H., Wiedmann, M., Boor, K. J., Bergholz, T. M., & Wang, S. (2012). Effect of Curing Method and Freeze-Thawing on Subsequent Growth of *Listeria monocytogenes* on Cold-Smoked Salmon. *Journal of Food Protection*, 75(9), 1619–1626. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-11-561>
- Khan, A. W., Roobab, U., Wang, Z., Raza, M. M., Nawazish, H., Islam, F., & Aadil, R. M. (2024). Salt Reduction in Food Products: A Systematic Review of Clean-Label Ingredients and Non-Thermal Technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 153, 104695. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104695>
- Kim, T.K., Yong, H.I., Jung, S., Kim, H.W., & Choi, Y.S. (2021). Effect of reducing sodium chloride based on the sensory properties of meat products and the improvement strategies employed: A review. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(4), 725–739.
- Lagarde, J., Feurer, C., Denis, M., Pierre-Emmanuel Douarre, Pascal Piveteau, & Roussel, S. (2024). *Listeria monocytogenes* prevalence and genomic diversity along the pig and pork production chain. *Food Microbiology*, 119, 104430–104430.  
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104430>
- Leygonie, C., & Hoffman, L.C. (2020). Effect of Different Combinations of Freezing and Thawing Rates on the Shelf-Life and Oxidative Stability of Ostrich Moon Steaks (*M. Femorotibialis medius*) under Retail Display Conditions. *Foods*, 9(11), 1624.  
<https://doi.org/10.3390/foods9111624>
- LI, L. (2021). Effects of high pressure versus conventional thawing on the quality changes and myofibrillar protein denaturation of slow/fast freezing beef rump muscle. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1590/fst.91421>
- Li, Z., Liang, Y., Zhu, Y., Ye, K., Sun, Z., Dong, M., & Lu, J. (2025). Theoretical study of a novel ejector-enhanced heat pump system with subcooling defrosting under cold conditions. *Energy Conversion and Management*, 326, 11950–11957.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119507>

- Llave, Y., & Sakai, N. (2018). Dielectric Defrosting of Frozen Foods. In *Food processing for increased quality and consumption*.
- Llave, Y., & Sakai, N. (2018). Dielectric Defrosting of Frozen Foods. *Food Processing for Increased Quality and Consumption*, 383–422. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811447-6.00013-8>
- Lorenzo, J. M., Sarriés, M. V., Tateo, A., Polidori, P., Franco, D., & Lanza, M. (2014). Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: A review. *Meat Science*, 96(4), 1478–1488. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.006>
- Mastanjević, K., Kartalović, B., Puljić, L., Kovačević, D., & Habschied, K. (2020). Influence of Different Smoking Procedures on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formation in Traditional Dry Sausage Hercegovačka kobasica. *Processes*, 8(8), 918. <https://doi.org/10.3390/pr8080918>
- Mataragas, M., Skandamis, P., & Drosinos, E. (2008). Risk profiles of pork and poultry meat and risk ratings of various pathogen/product combinations. *International Journal of Food Microbiology*, 126(1-2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.05.014>
- Merlo, T. C., Lorenzo, J. M., Saldaña, E., Patinho, I., Oliveira, A. C., Menegali, B. S., Selani, M. M., Domínguez, R., & Contreras-Castillo, C. J. (2021). Relationship between volatile organic compounds, free amino acids, and sensory profile of smoked bacon. *Meat Science*, 181, 108596. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108596>
- Merlo, T. C., Saldaña, E., Patinho, I., Patinho, M., & Contreras-Castillo, C. J. (2022). Free sorting task method to optimize the development of smoked bacon: A case study. In *Sensory Analysis for the Development of Meat Products*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822832-6.00010-2>
- Park, M.H., & Kim, M. (2024). Effects of Thawing Conditions on the Physicochemical and Microbiological Quality of Thawed Beef. *Preventive nutrition and food science*, 29(1), 80–86. <https://doi.org/10.3746/pnf.2024.29.1.80>
- Porto, C. D., Moret, S., & Soldera, S. (2006). A study on the composition of distillates obtained from smoked marc. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2), 396–400. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.026>
- Racovita, R. C., Secuianu, C., Ciuca, M. D., & Israel-Roming, F. (2020). Effects of Smoking Temperature, Smoking Time, and Type of Wood Sawdust on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Accumulation Levels in Directly Smoked Pork Sausages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(35), 9530–9536. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04116>
- Saldaña, E., Saldarriaga, L., Cabrera, J., Behrens, J. H., Selani, M. M., Rios-Mera, J., & Contreras-Castillo, C. J. (2019a). Descriptive and hedonic sensory perception of

Brazilian consumers for smoked bacon. *Meat Science*, 147, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.023>

Saldaña, E., Saldarriaga, L., Cabrera, J., Siche, R., Behrens, J. H., Selani, M. M., de Almeida, M. A., Silva, L. D., Silva Pinto, J. S., & Contreras-Castillo, C. J. (2019b). Relationship between volatile compounds and consumer-based sensory characteristics of bacon smoked with different Brazilian woods. *Food Research International*, 119, 839–849. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.067>

Saldaña, E., Valentin, D., Behrens, J., Selani, M. M., Patinho, I., & Contreras-Castillo, C. J. (2022). Consumer opinion about smoked bacon using Twitter and textual analysis: The challenge continues. In *Sensory Analysis for the Development of Meat Products*, 181–196. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822832-6.00013-8>

Sauvala, M., Johansson, P., Björkroth, J., & Fredriksson-Ahomaa, M. (2023). Microbiological quality and safety of vacuum-packaged white-tailed deer meat stored at 4 °C. *International Journal of Food Microbiology*, 390, 110110. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110110>

Şimşek, A., & Kılıç, B. (2017). Et Ürünlerinde Kullanılan Fosfatların Antioksidan ve Antimikrobiyal Özellikleri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(4), 299. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i4.299-307.1049>

Stergios Melios, Grasso, S., Bolton, D., & Crofton, E. (2024). Sensory quality and consumers' perception of reduced/free-from nitrates/nitrites cured meats. *Current Opinion in Food Science*, 101183–101183. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101183>

Stergios Melios, Grasso, S., Bolton, D., & Crofton, E. (2024a). A comparison of the sensory characteristics of plant-based, nitrite-free, dry-cured and brine-cured bacon rashers with temporal dominance of sensations and partial napping with ultra-flash profiling. *LWT*, 204, 116323–116323. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116323>

Sun, Y., Jia, Y., Song, M., Liu, Y., Xin, L., Chen, X., Fu, H., Wang, Y., & Wang, Y. (2023). Effects of radio frequency thawing on the quality characteristics of frozen mutton. *Food and Bioprocess Processing*, 139, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.02.007>

Unda, J.R., Molinis, R.A., & Walker, H.W. (1990). Microbiological and Some Physical and Chemical Changes in Vacuum-Packaged Beef Steaks Treated with Combinations of Potassium Sorbate, Phosphate, Sodium Chloride and Sodium acetate. *Journal of Food Science*, 55(2), 323–326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06753.x>

Uttaro, B., Badoni, M., Zawadski, S., & Gill, C. O. (2011). Effects of the pressure, flow rate and delivered volume of brine on the distributions of brine and bacteria in brine-injected meat. *Food Control*, 22(2), 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.06.016>

- Wang, H., Bai, B., Wang, Y., Bai, T., Shi, W., Wang, X., Wang, W., Yang, J., & Pan, S. (2025). Current trends and perspectives on the color of fish during low-temperature preservation: A focus on evaluation methods, discoloration mechanism, and protection methods. *Food Chemistry*, 474, 143199. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143199>
- Wu, H., He, Z., Yang, L., & Li, H. (2024). Unraveling the mechanism of aroma loss during prolonged hot air drying of non-smoked bacon: Insights into aroma compounds generation and retention. *Food Research International*, 194, 114927–114927. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114927>
- Xue, A., Chen, S., & Sun, Y. (2025). Study on the Effects of Different Thawing Methods on the Thawing Efficiency of Pork. *Processes*, 13(4), 1067. <https://doi.org/10.3390/pr13041067>
- Zhang, K., Li, N., Wang, Z., Feng, D. Z., Liu, X., Zhou, D., & Li, D. (2024). Recent advances in the color of aquatic products: Evaluation methods, discoloration mechanism, and protection technologies. *Food Chemistry*, 434, 137495–137495. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137495>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Jia, J., Peng, H., Qian, Q., Pan, Z., & Liu, D. (2023). Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. *Current Research in Food Science*, 6, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100470>
- Zhou, S., Chen, W., & Fan, K. (2024). Recent advances in combined ultrasound and microwave treatment for improving food processing efficiency and quality: A review. *Food Bioscience*, 58, 103683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103683>