

## Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

**BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA**  
UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
Chía - Cundinamarca



Universidad de  
**La Sabana**

---

## **EL EFECTO DE DESCONGELACION DE UNA MATRIZ CARNICA SOBRE LA APLICACIÓN EN ASADO COMO TÉCNICA DE COCCIÓN**

**Andrés Felipe Espitia Forero<sup>1</sup>**  
Código: 201021033

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO.**

**Director: Luz Indira Sotelo Diaz**  
**CO-Director: José María Ajkay Romero**

Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería, Escuela Internacional de Ciencias  
Económicas y Administrativas (Gastronomía)  
Programa de Ingeniería Química  
Chía, Cundinamarca, Colombia  
2016

---

<sup>1</sup>Estudiante de ingeniería Química universidad de la Sabana e-mail [andresesfo@unisabana.edu.co](mailto:andresesfo@unisabana.edu.co)



## Agradecimientos

En Primer lugar quiero agradecerle al programa de Gastronomía y a la facultad de ingeniería de la Universidad de La Sabana por permitir realizar este trabajo interdisciplinar. En segundo lugar a la Doctora Luz Indira Sotelo por apadrinar y guiar este proyecto por la dirección correcta. A los auxiliares de cocina por facilitar el trabajo en las cocinas y los auxiliares de laboratorio de la facultad de ingeniera por su colaboración durante la etapa experimental del proyecto, A la profesora Annamaría Filomena y a la estudiante Daniela Quintero del programa de gastronomía por su colaboración en el diseño de la prueba sensorial y por ultimo a José Antonio Martínez Sánchez que ayudo a construir los cimientos de este proyecto.



## Contenido

<b>1. DESCRIPCIÓN</b>	4
<b>1.1. PREGUNTA - JUSTIFICACIÓN</b>	4
<b>1.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA, ESTADO DEL ARTE</b>	5
<b>1.3. MARCO TEÓRICO:</b>	7
Conceptos preliminares:	7
<b>1.4. OBJETIVOS:</b>	11
Objetivo General:	11
Objetivos Específicos:	11
<b>1.5. METODOLOGÍA PROPUESTA:</b>	11
Tratamiento de la carne	11
Congelación	11
Congelación con Nitrógeno	11
Congelación Tradicional	11
Congelación mediante un abatidor	11
Descongelación	12
Descongelación en el ambiente	12
Descongelación a Baño maría	12
Contenido de Humedad	12
Capacidad de Retención de Agua (CRA)	12
Métodos de Cocción	12
Asado	12
Descripción sensorial	12
<b>1.6. Diseño Experimental</b>	13
<b>2. Análisis de Resultados</b>	14
<b>2,1. Métodos de Congelación y Descongelación.</b>	14
<b>2,2. Construcción de la Cinética.</b>	16
<b>2,3. Determinación del contenido de humedad y Capacidad de Retención de Agua.</b>	18
<b>2,4. Pruebas Sensoriales.</b>	22



<b>3. Conclusiones</b> .....	23
BIBLIOGRAFÍA.....	25
<b>Anexos</b> .....	27
<b>Anexo 1: tablas de Contenido de humedad y Capacidad de Retención de Agua</b> .....	27
<b>Anexo 2: Glosario Descriptores sensoriales.</b> ....	30
<b>Anexo 3: Análisis de Varianza de los descriptores organolépticos</b> .....	31
<b>Tabla 1: Descriptores sensoriales de una muestra de carne. Fuente: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 2: Diseño experimental para los tratamientos de congelación y descongelación.</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3: Cambio de temperatura con respecto al tiempo de los tres tratamientos de congelación y descongelación lenta.</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 4: Cambio de temperatura con respecto al tiempo de los tres tratamientos de congelación y descongelación rápida.</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 5: Contenido de Humedad en muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación lenta y con el método de cocción.</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 6 Contenido de Humedad en muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación rápida y con el método de cocción.</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 7: CRA de muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación lenta y con el método de cocción.</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 8: CRA de muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación rápida y con el método de cocción.</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 9: Contenido de Humedad de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación lenta.</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 10: Contenido de Humedad de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación rápida.</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 11: Capacidad de retención de agua de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación lenta.</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 12: Capacidad de retención de agua de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación rápida.</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 13: Análisis de varianza de los descriptores organolépticos.</b>	<b>31</b>



## 1. DESCRIPCIÓN

### 1.1. PREGUNTA - JUSTIFICACIÓN

Los productos cárnicos son alimentos altamente perecederos, es por ello que para su preservación se utilizan diversas barreras tradicionales que desaceleran o inhiben parcialmente el crecimiento microbiano; tales barreras están asociadas a cambios de Temperatura, pH, tiempos de cocción, modificación de presiones y demás procesos; a su vez dichos procesos traen asociados riesgos de desnaturalización de proteínas dada la naturaleza de los mismos y pérdida de humedad.

Tomando como referencia el proceso de congelamiento de una matriz cárnica cuyos riesgos asociados a desnaturalización se presenta en la medida en que este alimento sea tratado adecuadamente en su descongelación (dado a que el proceso de descongelación por si solo ya representa una pérdida en el contenido proteico y vitamínico asociada al arrastre de las mismas y de demás material hidrosoluble por parte de la lixiviación del agua), se hace necesario desde el punto de vista ingenieril, el desarrollo de técnicas adecuadas de congelamiento y descongelamiento que minimicen la desnaturalización del contenido proteico, preserven las propiedades originales del panel organoléptico y minimicen la cantidad de agua a la hora de cocer el producto después de un tratamiento de descongelación; no solo por implementar una posibilidad de mercado en el esquema industrial sino en pro de una adecuada alimentación.

Este proyecto de investigación busca plantear una solución al problema de la pérdida de humedad dado por la alteración brusca de la temperatura en el proceso de descongelación, lo cual tiene como impacto sobre el material cárnico de estudio, una pérdida de las propiedades organolépticas originales del mismo y una mala asimilación del contenido proteico del cárnico por parte del consumidor final dada la desnaturalización del mismo en donde se pasa de una estructura de orden superior a una de orden inferior.

Este proyecto se realiza con recursos del proyecto de Colciencias “Diseño de productos V gama a partir de carne de cerdo” código CT-044-2016.



## 1.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA, ESTADO DEL ARTE

A lo largo de la historia el ser humano ha buscado la forma de conservar por más tiempo sus alimentos, en la antigüedad la conservación se hacía mediante salmuera o por confitado en grasa. A finales del siglo XIX donde se empezaron a emplear cajas de hielo para conservar alimentos, pero dado su poca practicidad este proceso fue desechado rápidamente. No fue sino hasta los años 40s donde se empezaron a fabricar refrigeradores que funcionaban con gas propano, de ahí en adelante se empezó a utilizar la congelación como método de preservación, sin embargo la congelación altera el alimento a nivel celular lo cual hace una enorme diferencia en términos organolépticos y nutricionales, esta comparación la realizó Hoffaman en su artículo "Meat quality comparison between fresh and frozen-thawed ostrich *M. iliofibularis*" donde tomaron la carne del muslo de un avestruz y lo sometieron a una congelación estándar (contacto de aire) y después lo sometieron a una descongelación tradicional a temperatura ambiente encontrando un deterioro significativo en su calidad y oxidación en su proteína y concluyendo que el procedimiento tradicional de congelación y descongelación son altamente nocivos para la matriz cárnica. (Coleen Leygonie, 2012)

El deterioro en las proteínas y la disminución de la calidad de la matriz cárnica se debe en gran medida a la formación de cristales de agua en los bancos de humedad de la matriz, el efecto de la formación de estos cristales lo investigó Van der Sman en su artículo "Ice crystal interspacing in frozen foods" donde determinó que el tamaño de los cristales de hielo varían con respecto al método de congelación y a que tan gruesa es la matriz cárnica. Al tener un proceso donde la congelación ocurre de la manera más rápida los cristales serán de menor tamaño teniendo una menor incidencia en la carne, y por ende sus calidades organolépticas no se verán afectadas en gran medida. (R.G.M van der Sman, 2013)

Dado el estudio realizado por Van der Sman fue necesario realizar una cinética de congelación para observar como es el comportamiento de la matriz cárnica en este proceso, para ello Leonid Bronfenbrener planteo un modelo cinético en el cual involucra la transferencia de calor y masa en su estudio "Kinetic approach to modeling the freezing porous media: Application to the food freezing" encontrando que la dinámica de la cinética en la zona de transformación y cristalización (lugar donde ocurre el proceso de congelación) en cuanto al tiempo máximo, la tasa de cristalización decrece y se transporta hacia el centro de la muestra, lo cual es debido a la migración de humedad y el efecto de la cinética en regiones con valores pequeños de humedad. (Bronfenbrener & Rabeea, 2015)



A su vez, una cinética de congelación y de descongelación en un modelo unidimensional fue planteado por Adriana Delgado y Da-We Sun en su artículo “One-dimensional finite difference modelling of heat and mass transfer thawing of cooked cured meat” donde plantearon un modelo experimental para determinar el cambio de la temperatura con respecto al tiempo para congelación y para descongelación.

Por otro lado la pérdida de humedad de una matriz cárnica después de su cocción fue investigada por Samuel Ouilic en su estudio “Kinetic analysis of cooking losses from beef and other animal muscles heated in a water bath — Effect of sample dimensions and prior freezing and ageing” donde midió la pérdida de agua en muestras de carne de tejido semi-membranoso a diferentes tamaños y a diferentes temperaturas obteniendo como resultado que el tiempo de cocción, como la temperatura, el método para la transferencia de energía (calor) y el tipo de fibra muscular afecta la cantidad de humedad perdida. (Ouilic, Lemoine, Gros, & Kondjoyan, 2011)

De igual modo, la cocción de cárnicos fue investigada a fondo por el chef británico Heston Blumenthal en su libro Heston at home donde encontró que la mejor forma de minimizar la pérdida de humedad y aumentar los sabores del corte de carne, es mediante el entendimiento de las reacciones de Maillard las cuales son un conjunto de reacciones entre los aminoácidos y los azúcares presentes en alimentos con alto contenido proteico, estas reacciones son endotérmicas y endergónicas lo cual indica que deben ser tratadas a altas temperaturas, Heston confirmó que a 120°C se pueden iniciar las reacciones de Maillard y mantener una cinética de reacción alta. El tratamiento de la pieza de carne a altas temperaturas puede causar una enorme pérdida de humedad, lo cual Heston solucionó rotando la pieza de carne cada 15 segundos para asegurar la transferencia de energía a lo largo del corte y así minimiza la pérdida de humedad. (Blumenthal, 2011)



### 1.3. MARCO TEÓRICO:

Conceptos preliminares:

Una breve definición de proteína según Abrahan Cantarow (profesor de bioquímica del Instituto Médico Jefferson) *es un compuesto de peso molecular elevado, que consiste principalmente o por completo en cadenas de alfa-aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, podemos pensar en ellas como los materiales de construcción de nuestro organismo en donde su funcionalidad está basada en su uso para la formación y reparación de tejidos como por ejemplo músculos, piel o pelo; también tienen la función de regular los fluidos corporales como por ejemplo la orina y la bilis.*

Habiendo definido brevemente lo que es una proteína, a continuación se presentaran las proteínas presentes en la carne porcina en orden estructural:

- **Actina:** Es una proteína de estructura cuaternaria, denominada actina F, conformada por proteínas lineales o microfilamentos, viéndolo desde el punto de vista muscular, la actina F contiene una molécula de tropomiosina (proteína de longitud de 40 nanómetros), esta se enrolla alrededor de la hélice de actina F, que durante el reposo celular la tropomiosina recubre los sitios activos de la actina para evitar la interacción actina-miosina (Esta interacción produce la contracción muscular). También contiene moléculas proteicas como las troponinas (complejo de tres polímeros: troponina I, troponina T y troponina C). (Arthur C Guyton, 2006)
- **Miosina:** Es una proteína fibrosa, para aspectos prácticos de este estudio, se centrara en la miosina tipo 2, la cual impulsa la contracción muscular y la citocinesis, la cual tiene 2 propiedades características, la primera es que contiene 2 cadenas pesadas (2000 aminoácidos) y la segunda es que contiene cuatro cadenas ligeras que ligan las cadenas pesadas. (Arthur C Guyton, 2006)

Cabe aclarar que la interacción de Actina-Miosina durante la vida del animal, determina la terneza del corte, es decir los músculos más empleados como las patas o los cachetes del porcino, mientras que la espalda específicamente el lomo son músculos de poca actividad por ende las concentraciones de tropomiosina son mayores. (Lana & Zolla, 2016)

- **Troponina:** como se mencionó anteriormente en la estructura de la actina F, se encuentra varios tipos de troponina, las cuales son la troponina T, la troponina C y la troponina I. La troponina T es la subunidad encargada de movilizar la tropomiosina, permitiendo que se genere la interacción actina-miosina. La troponina C, tiene la capacidad de ligar iones de calcio. Y la troponina I, está presente en la actividad de relajación y contracción muscular. (Arthur C Guyton, 2006)

**Congelación:** La congelación según Rudolf Plank en su libro el empleo del frío en la industria de la alimentación, es el proceso de preservación originado por la reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que se comienzan a formar cristales en un material alimenticio, debe su poder conservador a la casi total eliminación del agua líquida por formación de hielo obstaculizando la actividad microbiológica y enzimática.

- **congelación lenta:** cuya velocidad oscila alrededor de 1 cm/h, como ejemplo para este tipo de congelación tenemos el congelador doméstico cuyo tiempo de congelación es largo y depende de las unidades a congelar.
- **congelación media:** cuyas velocidades varían entre 1 y 5 cm/h, un ejemplo en este caso es el equipo conocido como túnel de aire frío el cual trabaja con corrientes de aire a 20 km/h a  $-40^{\circ}\text{C}$ .
- **Congelación rápida:** cuya velocidad de congelación es superior a los 5 cm/h y consiste en la aplicación de un líquido refrigerante (ejemplo: Nitrógeno líquido) sobre el material a enfriar. (Plank, 2005)

**Descongelación:** la descongelación consiste en fundir los cristales de hielo formados previamente en el proceso de congelación mediante un incremento paulatino de la temperatura. Dentro de los procesos de descongelación se encuentran dos grandes tipos:

- **Descongelación rápida:** Esta consta principalmente en tomar el alimento congelado y llevarlo a temperatura ambiente o superior, mediante el uso de equipos como el microondas o el baño de María.
- **Descongelación lenta:** se lleva al alimento a una temperatura aproximada de  $-2^{\circ}\text{C}$  mediante el uso del refrigerador, esta técnica consiste en crear un gradiente paulatino en la temperatura mediante una cadena de frío; en donde el material a descongelar no experimenta abruptamente el choque térmico. (Plank, 2005)

**Caracterización de la Carne de cerdo:** antes de definir las características de la carne de cerdo, primero se debe definir que es un corte de carne, según la NTC 1325 y al decreto 2162 de 1983, un corte de carne se define como: “Se entiende por carne la parte muscular comestible de los animales de abasto sacrificados en mataderos autorizados constituida por todos los tejidos blandos que rodean el esqueleto, tendones, vasos, nervios, aponeurosis y todos los tejidos no separados durante la faena. Además, se considera carne al diafragma pero no los músculos de sostén de hioides, el corazón, y el esófago.”

La coloración de la carne de cerdo es normalmente de tonos rosados, cuya intensidad está directamente relacionada con la concentración de mioglobina y hemoglobina, la cual es baja en comparación con la carne de bovino. Por otro lado la cantidad de grasa del cerdo varía



de acuerdo al musculo y al trabajo del mismo, para este estudio se utilizó el musculo *longissimus lumborum* (Lomo de cerdo) cuya concentración de mioglobina y hemoglobina es baja y su contenido de grasa esta alrededor del 10% del peso del corte. Dentro de los ácidos grasos encontrados en este musculo resaltan los ácidos de cadena corta como el ácido monoinsaturado (MUFA), el ácido poliinsaturado (PUFA), ácido butírico y el ácido caprílico. (Interporc, 2015) (Donald Voet, 2006)

#### *Contenido de humedad.*

Se puede definir el contenido de humedad como, el porcentaje peso a peso de agua con respecto al peso del corte. (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos , 2007)

#### *Capacidad de Retención de Agua (CRA)*

“La capacidad de retención del agua se define como la capacidad que tiene la carne para retener el agua libre durante la aplicación de fuerzas externas, tales como el corte la trituración y el prensado.” (Jiménez, Gastelum, & Rivera.)

#### *Aspectos Sensoriales:*

Otro aspecto importante a tratar es la jugosidad de la carne después de ser cocinada, dado que en el proceso de cocción al haber rompimiento proteico y celular su humedad se libera. La cantidad de humedad (que tan jugoso el corte sea) depende de numerosos factores, como el tipo de cocción, la cantidad de grasa que tenga el corte, etc...

- ✓ **Jugosidad:** Se define como la cantidad de humedad que retiene el corte después de ser cocinado.

A su vez la descripción sensorial es un indicador importante de la calidad del producto a tratar, que en este caso es carne vacuna, para ello se emplean descriptores de sabor y de aroma para poder calificar la calidad de la muestra, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1: Descriptores sensoriales de una muestra de carne. Fuente: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.

<i>Atributo</i>	Definición	Sustancia de Referencia
<b>Olor</b>		
<i>Cloro</i>	Olor relacionado con el cloro libre	Solución de Hipoclorito de sodio al 5%
<i>Tierra</i>	Olor relacionado con la tierra húmeda	Tierra húmeda Geosmina
<i>Huevo</i>	Olor relacionado con el huevo cocido	Huevo cocido. Isopropil Mercaptano
<i>Humo</i>	Olor relacionado con el humo	Humo líquido
<i>Madera</i>	Olor relacionado con madera cortada	Trozos de madera húmeda
<i>Plástico</i>	Olor relacionado con el plástico	Agua almacenada con una apreciable nota a plástico. Metacrilato de Metilo
<i>Medicinal</i>	Olor relacionado con medicamentos	Acetaldehído
<i>Pescado</i>	Olor relacionado con el pescado crudo	Pescado crudo fresco. n-hexal, n-heptal
<b>Sabor</b>		
<i>Cloro</i>	Sensación del sabor al agua clorada	Agua almacenada con una apreciable nota cloro
<i>Bicarbonato</i>	Sensación del sabor a bicarbonato de sodio	Bicarbonato de sodio
<i>Metálico</i>	Sensación del sabor a metal	sulfato ferroso
<i>Tierra</i>	Sensación del sabor a agua de río	Agua almacenada con una
<i>Astringente</i>	Sensación mixta percibida en la lengua entre la sequedad intensa y el amargor	sulfato ferroso
<i>Huevo</i>	Sensación del sabor a huevo cocido	Huevo cocido
<i>Plástico</i>	Sensación del sabor al agua en bolsa	Agua
<i>Amargo</i>	Sabor amargo	Quinina

✓ **Sellado como técnica de cocción**

El sellado o Asado en la sartén se define como la caramelización y generación de costra en la superficie de la carne o cual se logra a altas temperaturas, para así retener la mayor cantidad de jugos dentro del corte.



#### 1.4. OBJETIVOS:

##### Objetivo General:

Emplear un modelo empírico que describa el efecto de descongelación de una matriz cárnica sobre su aplicación en el asado como técnica culinaria.

##### Objetivos Específicos:

- ✓ Evaluar sobre carne pulpa de cerdo, los procesos de congelación utilizando Nitrógeno líquido, congelación lenta y congelación rápida.
- ✓ Evaluar sobre carne pulpa de cerdo, procesos de descongelación a temperatura ambiente y en un baño maría.
- ✓ Evaluar la influencia de los procesos de congelación y descongelación sobre las características organolépticas en la cocción de la carne pulpa de cerdo.

#### 1.5. METODOLOGÍA PROPUESTA:

##### Tratamiento de la carne

A partir de lomo de cerdo (1500 g), se extraen piezas de 1 cm de grosor con pesos entre 90-110 g, las cuales deben ser empacadas a vacío en bolsas de plástico termoestable. (Mitchel, Rynbergen, Anderson, & Dibble, 1970)

##### Congelación

###### Congelación con Nitrógeno

Disponer la muestra cárnica en una bandeja de acero y agregar Nitrógeno líquido por 5 minutos para asegurar una congelación adecuada, almacenar la muestra a  $-8^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos para alcanzar un equilibrio térmico.

###### Congelación Tradicional

Colocar la muestra en una bandeja de acero inoxidable y dejarla en un congelador (True Freezer™) a  $-12^{\circ}\text{C}$  hasta que la por 72 horas. (Es recomendable utilizar un congelador convectivo para maximizar la transferencia de energía)

###### Congelación mediante un abatidor

Colocar la muestra en una bandeja de acero y dejarla en el abatidor (General Electric™) por 30 minutos a  $-36^{\circ}\text{C}$ .



## Descongelación

### Descongelación en el ambiente

Llevar las muestras a temperatura ambiente y monitorear el ascenso de la temperatura en el seno de la muestra, en el lapso de tiempo que lleva alcanzar una temperatura por encima de 2°C en el seno de la muestra.

### Descongelación a Baño maría

Llevar las muestras a un baño maría (PolyScience™) a temperatura de 30°C monitoreando el ascenso de la temperatura en el seno de la muestra en el lapso de tiempo que lleva alcanzar una temperatura de 5°C en el seno de la muestra.

## Contenido de Humedad

Muestras de 5,0 g  $\pm$  0,1 g se pulverizaron con un ultra turrax a 2000r.p.m luego se secaron durante 24 horas a 75°C  $\pm$  0,1 °C; empleando el método de secado en estufa (985.14 AOAC). (Ambrosio, 2012)

## Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Muestras 1,5 g  $\pm$  0,1 g se recubrieron en papel filtro Whatman # 3 previamente pesado y secado y se recubrió nuevamente con papel Whatman # 50. La muestra se centrifugó a 9000r.p.m, a 4 °C por 20 minutos. Al finalizar la centrifugación el papel de filtro fue nuevamente pesado. La CRA se determinó por diferencia de peso. (Ambrosio, 2012)

## Métodos de Cocción

### Asado

Tomar la muestra descongelada y llevarla a temperatura ambiente antes de cocinarla para evitar la sobre cocción de la pieza. Cocinarla en un sartén con aceite caliente por un minuto y medio de cada lado de la pieza y por ultimo dejar reposar la pieza por 5 minutos, lo cual fue recomendado por el chef asesor dada su experiencia previa con este tipo de carnes. (Blumenthal, 2011)

## Descripción sensorial

Tomar una muestra de 10 gramos de cada tratamiento, codificarla con un código de tres dígitos, y disponerlas en platos debidamente demarcados y servírsela a un panel inexperto de 30 personas.

## 1.6. Diseño Experimental

Diseño experimental elaborado en el programa Design Expert versión 6.0, muestra los tratamientos de congelación y descongelación antes de someter las muestras a asado como método de cocción.

Tabla 2: Diseño experimental para los tratamientos de congelación y descongelación.

<b>Corrida</b>	<b>Experimento</b>		
-	Congelación	Descongelación	Cocción
0	Pre-Experimental		
1	Congelación Tradicional	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
2	Congelación Tradicional	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
3	Congelación Tradicional	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
4	Congelación Tradicional	Descongelación por Baño María	Asado
5	Congelación Tradicional	Descongelación por Baño María	Asado
6	Congelación Tradicional	Descongelación por Baño María	Asado
7	Congelación Rápida	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
8	Congelación Rápida	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
9	Congelación Rápida	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
10	Congelación Rápida	Descongelación por Baño María	Asado
11	Congelación Rápida	Descongelación por Baño María	Asado
12	Congelación Rápida	Descongelación por Baño María	Asado
13	Congelación por Nitrógeno	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
14	Congelación por Nitrógeno	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
15	Congelación por Nitrógeno	Descongelación a Temperatura Ambiente	Asado
16	Congelación por Nitrógeno	Descongelación por Baño María	Asado
17	Congelación por Nitrógeno	Descongelación por Baño María	Asado
18	Congelación por Nitrógeno	Descongelación por Baño María	Asado

## 2. Análisis de Resultados

### 2.1. Métodos de Congelación y Descongelación.

La congelación en los tres tratamientos se realizó siguiendo el procedimiento descrito en la metodología. El cambio de temperatura con respecto al tiempo de descongelación lenta (Temperatura ambiente 19°C), para los tres tratamientos se observa en la tabla 3.

Tabla 3: Cambio de temperatura con respecto al tiempo de los tres tratamientos de congelación y descongelación lenta.

t (min)	Congelación Tradicional T(°C)			Congelación Rápida T(°C)			Congelación por Nitrógeno T(°C)		
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3
0	-5,8	-7,7	-5	-6,8	-8,1	-4	-6,1	-6,2	-5,3
5	-3,3	-4	-3,8	-4	-5,3	-3,3	-4	-4,5	-3,8
10	-2,5	-2,8	-2,7	-3	-3,9	-3,1	-3,1	-3,6	-3
15	-1,9	-2,7	-2,4	-2,4	-3,5	-2,7	-3	-3,3	-2,5
20	-1,7	-2,6	-2	-1,9	-3,1	-2,4	-2,4	-2,9	-2,2
25	-1,6	-2,3	-1,7	-1,5	-2,8	-2,2	-2,1	-2,6	-2,4
30	-2,2	-2	-1,6	-1,2	-2,5	-2	-2,1	-2,4	-2,1
35	-2	-1,9	-1,4	-1,1	-1,9	-1,9	-1,9	-2,2	-1,9
40	-1,9	-1,8	-1,2	-0,9	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,5
45	-1,7	-1,6	-1,5	-0,9	-1,5	-0,9	-1,7	-1,9	-1,3
50	-1,5	-1,4	-1,3	-0,6	-1,3	-0,5	-1,6	-1,7	-0,5
55	-1,4	-1,4	-0,6	1,4	-1	6,8	-1,4	-1,5	4,4
60	-0,3	-1	3,1	5,4	1,6	9,5	-0,7	-1,2	4,6
65	1,3	-0,5	3,3	5,6	2	9,8	1,1	-0,7	4,6
70	1,3	1,1	3,3	5,6	2	9,8	1,1	0,2	4,7
75	1,3	1,1	3,3	5,6	2	9,8	1,1	0,2	4,7

El comportamiento de las muestras sometidas a las diversas técnicas de congelación tienen un comportamiento similar en los primeros 50 minutos, sin embargo se puede observar una heterogeneidad mínima en los datos, a pesar de ser muestras extraídas del mismo animal, esto se debe a la anisotropía del tejido, la cual se asentó en el momento de la extracción de las muestras.

Después del minuto 60 se observa que las muestras alcanzaron las temperaturas por encima de los 0°C, evidenciando un incremento en la temperatura más pronunciado con la técnica de congelación rápida, esto es debido al tamaño de cristal que se produce en este tipo de congelación, debido a que se forman cristales de menor tamaño en comparación a las otras dos técnicas de congelación, al obtener un cristal de menor tamaño se obtendrá una mayor área superficial (R.G.M van der Sman, 2013), lo cual beneficia la transferencia de energía entre el medio y la carne.



Teniendo en cuenta que el tamaño de los cristales de hielo es indirectamente proporcional a la velocidad de congelación se espera encontrar un comportamiento similar al observado con la congelación rápida, (R.G.M van der Sman, 2013) en la congelación con baño de Nitrógeno el cual no presentó el mismo fenómeno, esto es debido a que la carne se congela en cuestión de segundos, en vez de formar micro cristales de hielo, generando la formación de macro cristales de hielo, dando como resultado una menor área superficial y por ende generando una menor transferencia de energía en comparación a la técnica de congelación rápida.

Sin embargo las muestras tratadas con el método de descongelación rápida tuvieron un comportamiento diferente al observado en las muestras tratadas con el método de descongelación lenta, en este caso la congelación por Nitrógeno mostro una velocidad de descongelación más elevada en comparación a la congelación rápida tal como se aprecia en la tabla 4, esto es debido a que la congelación por Nitrógeno se da en cuestión de segundos provocando que el seno del tejido se congele a una mayor temperatura que la superficie del tejido y dado a que se forma un macrocristal de hielo, la transferencia de energía se da de manera ineficiente a lo largo del tejido. A su vez el agua la cual tiene un mejor coeficiente de transferencia de energía que el aire, la descongelación se da a velocidades mayores.

Tabla 4: Cambio de temperatura con respecto al tiempo de los tres tratamientos de congelación y descongelación rápida.

t (s)	Congelación Tradicional T(°C)			Congelación Rápida T(°C)			Congelación por Nitrógeno T(°C)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2
0	-3,3	-4,5	-3,2	-7,2	-2,4	-3,3	-0,9	-1,7
10	-2,6	-3,3	-2,2	-6,5	-2,2	-3,1	-0,8	-1,7
20	-2,5	-2,9	-1,5	-6,3	-1,9	-3	0,5	-1,7
30	-2	-2,5	-1,2	-5,9	-1,5	-2,8	2,1	-1,4
40	-1,9	-2,4	-1	-5,6	-0,9	-2,6	4,4	-1,2
50	-1,7	-2,2	-0,4	-5,4	0	-2,4	6,5	-1
60	-1,6	-2,1	-0,1	-5	0,7	-2,2	7,8	-0,2
70	-1,2	-2	0	-3,4	1,5	-2,1	8,9	1
80	-0,6	-1,9	1,1	-2,8	2,3	-1,9	10,4	2,8
90	-0,3	-1,7	1,9	-1,2	3,1	-1,5	11,3	4,9
100	0,3	-1,4	2	-0,1	3,7	-1,2	12,1	6,6
110	1	-1,2	2,5	2	4,5	-0,9	13,2	8,1
120	1,7	-0,9	3,1	3,1	5,1	-0,5	14	9,5
130	2,3	-0,6	3,9	4	5,7	0	15	10,7
140	2,8	0	4,7	5	6,1	0,9	15,9	12,3
150	3,5	0,9	5	6,1	6,5	1,2	16,6	13,7
160	4,2	1,2	5,1	6,7	6,9	2,8	17,4	15
170	4,2	1,4	5,1	7,7	7,2	4	17,9	16,2

## 2.2. Construcción de la Cinética.

Dada la naturaleza del experimento, es necesario desarrollar la cinética como un modelo empírico directo de los datos recopilados en el laboratorio ilustrados en las tablas 3 y 4, donde se puede identificar que los datos tienen un comportamiento no lineal, lo cual el modelo matemático se expresa de la forma  $y = f(u_1 u_2 u_3, \dots \beta_1 \beta_2 \beta_3 \dots)$ , donde (y) es la salida del modelo ( $u_i$ ) es la entrada del modelo y ( $\beta_i$ ) son parámetros no lineales a los cuales se le debe definir una suma de cuadrados la cual se minimiza para seleccionar los parámetros ( $\beta_i$ ).

En este caso se asume que la descongelación de la matriz cárnica se comporta como un modelo de primer orden al cual se le aplicó una perturbación de tipo paso dando como resultado la siguiente función de transferencia (en el dominio de Laplace)  $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{KM}{\tau s + 1}$  donde K es la ganancia de la función con respecto al estado estacionario,  $\tau$  es la constante del tiempo y M es la magnitud de la perturbación.

Al llevar esta función al dominio del tiempo aplicando transformada inversa de Laplace se obtiene el siguiente modelo  $T(t) = KM(1 - e^{-t/\tau})$  (Seborg, Edgar, Millichamp, & III, 2004), donde los  $\beta_i$  en este caso son la constante del tiempo ( $\tau$ ) y la ganancia (K), (y) es la temperatura y ( $u_i$ ) es la magnitud de la perturbación (M), esta función se ve representada en la figura 3 y 4. Cabe aclarar que el modelo se realizó con variables de desviación las cuales se definen como la diferencia entre el valor variable, en este caso la temperatura y el valor de operación, el cual para este estudio es la temperatura de congelación. (Smith & Corripio, 1995)

En las figuras 1 y 2 se presenta el modelo obtenido.

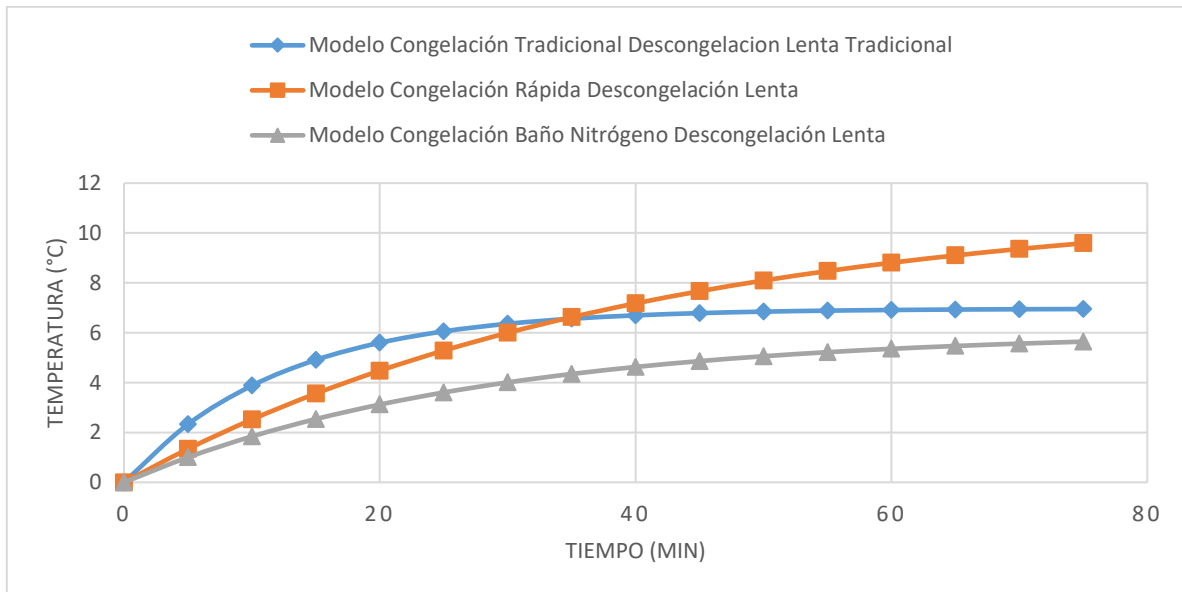


Figura 1: Modelo Empírico del cambio de la temperatura con respecto al tiempo de una matriz cárnica porcina utilizando diversas técnicas de congelación y descongelación lenta.

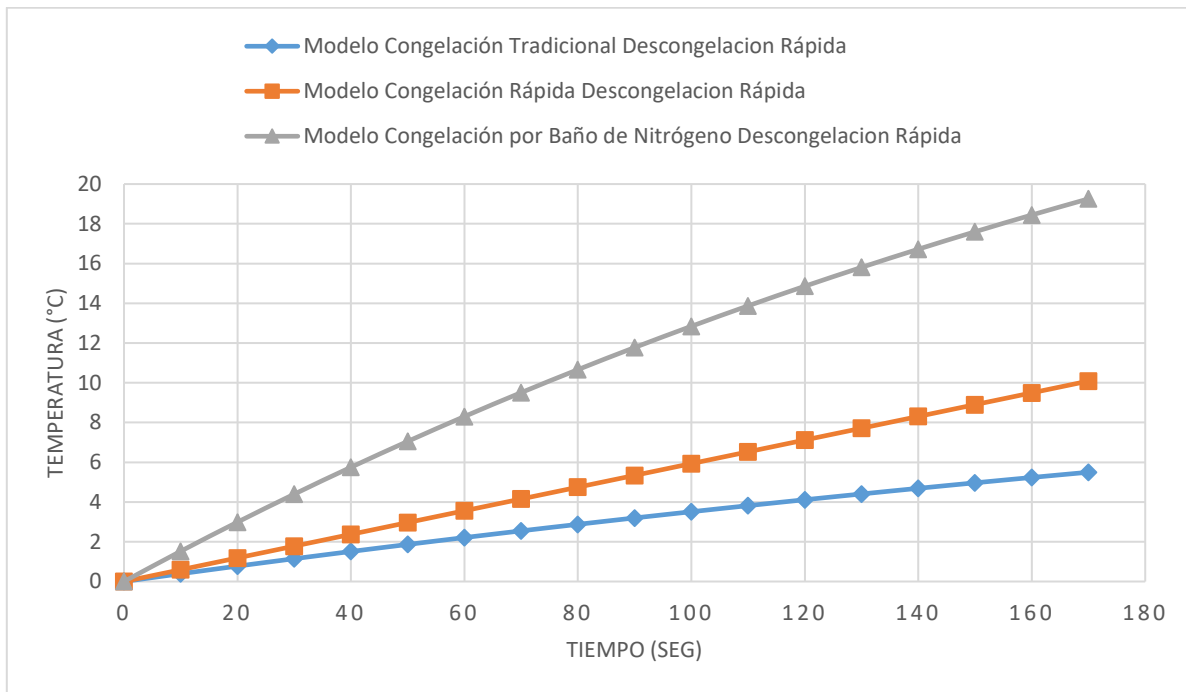


Figura 2: Modelo Empírico del cambio de la temperatura con respecto al tiempo de una matriz cárnica porcina utilizando diversas técnicas de congelación y descongelación rápida.

### 2.3. Determinación del contenido de humedad y Capacidad de Retención de Agua.

Durante los procesos de descongelación se presenta la formación de lixiviados consecuentes al derretimiento de los cristales de hielo formados durante el proceso de congelación, lo cual afecta directamente al contenido de humedad y la capacidad de retención de agua (CRA) del corte, parámetros que están directamente ligados a la calidad de la carne. Para poder observar cual tratamiento de congelación y de descongelación maximiza el contenido de humedad y la CRA de un corte de carne ya cocido con la técnica de sellado (asado) se realizaron técnicas gravimétricas en las muestras tratadas con las diversas técnicas de congelación y de descongelación y en un control.

En cuanto al contenido de humedad, se tomaron sub-muestras de 5 gramos de cada muestra de carne y del control, a las cuales se les aplicó la metodología descrita previamente. Arrojando los siguientes resultados.

*Tabla 5:* Contenido de Humedad en muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación lenta y con el método de cocción.

		% HUMEDAD (B.H)
<b>Control sin Congelación- Asado</b>	<b>Promedio</b>	31,76
	<b>Desviación</b>	5,22
<b>Congelación Tradicional- Asado</b>	<b>Promedio</b>	20,82
	<b>Desviación</b>	7,10
<b>Congelación Rápida- Asado</b>	<b>Promedio</b>	21,56
	<b>Desviación</b>	5,36
<b>Congelación Baño de Nitrógeno- Asado</b>	<b>Promedio</b>	14,93
	<b>Desviación</b>	2,89

\* *El contenido de Humedad de una pieza de cerdo no cocida es del 76% (Yang, y otros, 2016)*

Para las muestras tratadas con la descongelación lenta el contenido de humedad es menor en comparación al control, esto se debe a que en el proceso de descongelación se genera lixiviado, producto del derretimiento de los cristales de hielo. Al observar la tabla 5 se evidencia que la congelación rápida muestra un mayor contenido de humedad en comparación con las muestras tratadas con los otros tratamientos de congelación, esto se debe al tamaño del cristal de hielo que se genera en este tratamiento.



Tabla 6 Contenido de Humedad en muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación rápida y con el método de cocción.

		% HUMEDAD (B.H)
<b>Control sin Congelación- Asado</b>	<b>Promedio</b>	34,63
	<b>Desviación</b>	2,71
<b>Congelación Tradicional- Asado</b>	<b>Promedio</b>	37,66
	<b>Desviación</b>	2,15
<b>Congelación Rápida- Asado</b>	<b>Promedio</b>	34,97
	<b>Desviación</b>	0,77
<b>Congelación Baño de Nitrógeno- Asado</b>	<b>Promedio</b>	38,17
	<b>Desviación</b>	2,15

\* El contenido de Humedad de una pieza de cerdo no cocida es del 76% (Yang, y otros, 2016)

En la tabla 6 se pueden apreciar los resultados de contenido de humedad para muestras tratada con todas las metodologías de congelación y descongelación rápida, la cual arrojó mayores resultados en el contenido de humedad en comparación con los resultados expuestos en la tabla 3, esto se debe a que la descongelación se da en cuestión de 30 segundos promedio, por ende las fibras no tiene el suficiente tiempo para recomodarse en su forma original (antes de ser sometidas a las técnicas de congelación) (R.G.M van der Sman, 2013) (Basso, y otros, 2016) generando un espacio interfibrilar el cual es ocupado por el agua producto de la descongelación y que al momento de someter las muestras a la técnica de cocción, el agua queda atrapada dentro de la pieza generando el aumento el contenido de humedad.

Para la determinación de la CRA se tomaron sub-muestras de 1,5 gramos de cada muestra de carne y del control, a las cuales se les aplicó la metodología descrita previamente. Arrojando los siguientes resultados.

Tabla 7: CRA de muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación lenta y con el método de cocción.

		PESO INICIAL PAPEL	PESO INICIAL MUESTRA (masa inicial)	PESO FINAL PAPEL	PESO FINAL DE LA MUESTRA	(Cra g de agua retenida/100g de muestra) b.h
<b>Control</b>	Promedio	1,68	1,57	1,98	0,29	13,03
	Desviación	0,02	0,01	0,04	0,02	1,20
<b>Tradicional</b>	Promedio	1,69	1,52	2,05	0,36	2,82
	Desviación	0,01	0,04	0,03	0,04	2,03
<b>Rápida</b>	Promedio	1,69	1,53	2,09	0,39	4,24
	Desviación	0,01	0,02	0,02	0,03	2,44
<b>Baño de Nitrógeno</b>		1,7016	1,5532	2,0958	0,39	5,10

Al observar la tabla 7 se puede apreciar que el control tiene una mejor CRA dado a que este mismo contiene un mayor contenido de humedad y al no generarse rompimiento de fibras al momento de la congelación, la muestra puede contener su propia humedad de manera más eficiente. Al observar la CRA de las muestras congeladas se encuentra que la muestras tratadas con la técnica de congelación tradicional tienen una menor CRA esto es debido al rompimiento de fibras que se forman en este tipo de congelación (Basso, y otros, 2016), mientras que las muestras tratadas con las técnicas de congelación rápida y baño de Nitrógeno mostraron una mejor CRA sin embargo se encuentran muy alejadas del control. Dado a la propagación del error aleatorio en las muestras tratadas con el baño de Nitrógeno se vio necesario exponer el dato único el cual se aprecia en la tabla 5.

Tabla 8: CRA de muestras tratadas con todas las técnicas de congelación, descongelación rápida y con el método de cocción.

		PESO INICIAL PAPEL	PESO INICIAL MUESTRA (masa inicial)	PESO FINAL PAPEL	PESO FINAL DE LA MUESTRA	(Cra g de agua retenida/100g de muestra) b.h
<b>Control</b>	Promedio	1,69	1,53	2,01	0,31	14,10
	Desviación	0,01	0,03	0,03	0,04	2,01
<b>Tradicional</b>	Promedio	1,68	1,57	2,01	0,33	16,90
	Desviación	0,02	0,02	0,03	0,01	1,09
<b>Rápida</b>	Promedio	1,69	1,51	2,03	0,34	12,82
	Desviación	0,01	0,01	0,01	0,01	0,25
<b>Baño de Nitrógeno</b>	Promedio	1,70	1,51	1,95	0,24	22,19
	Desviación	0,01	0,01	0,01	0,01	0,61



A su vez en la tabla 8 se aprecian los resultados para CRA con descongelación rápida los cuales son considerablemente mejores en comparación a los resultados expuestos en la tabla 5, esto se debe a que en la descongelación rápida se forman espacios interfibrilares en donde el agua se deposita generando mejores resultados en cuanto a la CRA. En comparación al control, en este caso las muestras tratadas con el baño de Nitrógeno mostraron una mejor CRA dado a la formación de macro cristales, que a pesar de su tamaño el efecto sobre las fibras es considerado mínimo, formando espacios interfibrilares de mayor tamaño haciendo que las muestras puedan retener mayor cantidad de agua. (R.G.M van der Sman, 2013) Al buscar un tratamiento óptimo que maximice el contenido de humedad y la capacidad de retención de agua, se encontró que las muestras tratadas con el baño de Nitrógeno y la descongelación rápida es la pareja de congelación y descongelación que maximiza estos 2 factores teniendo un porcentaje de deseabilidad del 95,7%.

## 2.4. Pruebas Sensoriales.

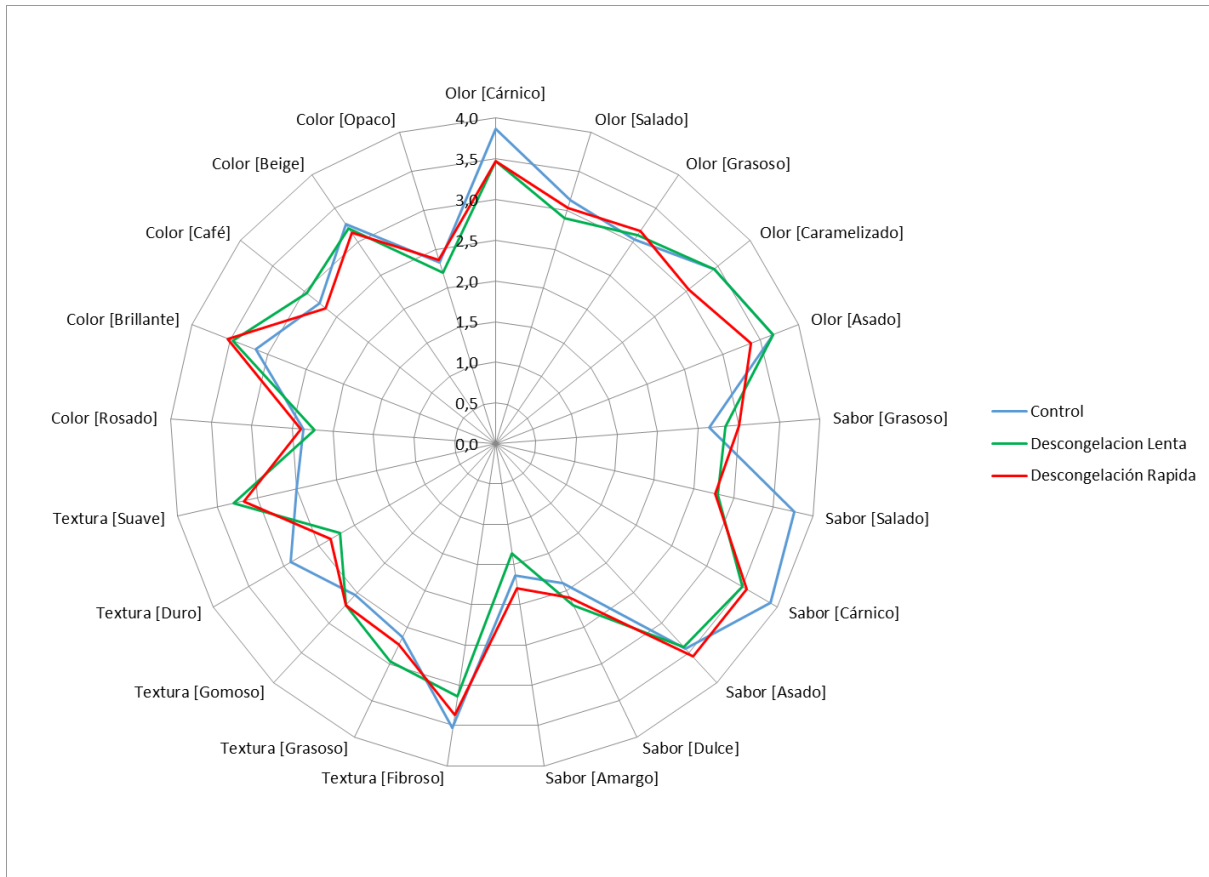


Figura 3: Resultados Prueba Sensorial Aplicando las diversas técnicas de Congelación y Descongelación

En la figura 3 se puede apreciar los resultados de la prueba sensorial aplicada a un panel inexperto compuesto de 30 personas de edades y sexo variados, a los cuales se les pidió una calificación de 4 características organolépticas tales como olor, sabor, textura y color (La definición de cada descriptor se encuentra en el anexo 2).

En las cuales se puede apreciar una diferencia Significativa en comparación con un control sin tratamiento de congelación-descongelación para ello se realizó un análisis de varianza de cada descriptor el cual se encuentra en el anexo 3. Para el descriptor olor, el control tiene un olor “cárnico” mucho más marcado que las muestras con tratamientos, a su vez las tres muestras de carne (control, descongelación lenta y descongelación rápida) mostraron la misma percepción de olor “grasoso” y “salado”.

En cuanto al olor “asado” y “caramelizado” el control y la muestras de descongelación lenta tuvieron el mismo comportamiento, mientras que la muestras de descongelación rápida tuvieron resultados menores en comparación a las otras muestras, esto se debe a que en la descongelación rápida se forma humedad en la superficie de la muestras, haciendo que su caramelización y absorción de aromas se vea afectada a la hora de la cocción.





En cuanto al sabor las tres muestras tuvieron el mismo comportamiento en la mayoría de descriptores a excepción de “salado” y “cárnico” donde el control tuvo valores mucho más altos, esto se debe a la presencia de lixiviados producto de la descongelación ya sea lenta o rápida, que va a disminuir la concentración de sal y de elementos volátiles, en este caso el “olor cárnico”.

Para textura los descriptores en donde se aprecia una diferencia considerable en los descriptores de “suave” y “duro” dado que el control en cuanto a la percepción del panel tiene una mayor dureza en comparación a las muestras, esto se debe a que durante la congelación se produce rompimiento de las fibras (Independiente del método de congelación) generando así un incremento en su suavidad a la hora de la degustación.

En cuanto al descriptor color no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, esto puede deberse a que la carne de cerdo tiene una concentración baja de mioglobina y a que los efectos de la descongelación no tienen un efecto significativo sobre esta, el color de las muestras tratadas resulta siendo uniforme para la percepción del panelista.

### 3. Conclusiones

El efecto de congelación y descongelación de carne de cerdo para ser posteriormente utilizada en asado como método de cocción se puede evidenciar en los siguientes aspectos:

- En términos generales el efecto de la descongelación se puede apreciar en el contenido de humedad, en la Capacidad de Retención de Agua y en aspectos sensoriales tales como el sabor el olor y la textura.
- Si la congelación se da a velocidades muy altas se pueden generar zonas más frías que otras haciendo una congelación no homogénea.
- La cinética como modelo empírico propuesto describe de manera adecuada el comportamiento de la descongelación a través del tiempo para ambas de técnicas de descongelación.
- Los efectos de la descongelación lenta en el contenido de humedad y la capacidad de retención de agua son considerables dado la producción de lixiviados, por otro lado, la descongelación rápida acentúa la capacidad de retención de agua y el contenido de humedad dado a la formación de espacios interfibrilares donde el agua se puede depositar, por ello la mejor combinación de técnicas de congelación y de descongelación es el baño de Nitrógeno con descongelación en baño maría arrojando la mayor CRA y un mayor contenido de humedad.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de contenido de humedad, capacidad de retención y sensorial, se puede concluir que el tiempo óptimo de cocción de una carne pulpa de cerdo de un grosor de 1 cm es de 3 minutos, asegurando así un contenido de humedad del 33% y una capacidad de retención de agua de 13g de agua por 100g de muestra.



- Como era de esperarse los efectos de congelación y de descongelación sobre las propiedades organolépticas de la carne son considerables en algunos descriptores sensoriales, tales como el sabor, la textura y el olor. el color no tiene efecto significativo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosio, A. F. (2012). *Evaluación de la Actividad ATP-asa en Surimi con Diferentes Estabilizantes y su Relación con las Principales Propiedades Funcionales y Estructurales al Aplicar Ultrasonido*. Chía, Cundinamarca: Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería .
- Arthur C Guyton, J. E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier .
- Basso, F. G., Prestes, R. C., Granato, D., Simoes, D. R., Roman, S. S., & Demiate, I. M. (2016). Assessing the use of frozen pork meat in the manufacture of cooked ham. *Food Science and Technology*, 124-131.
- Blumenthal, H. (2011). *Heston at Home*. Londres: Bloomsbury .
- Bronfenbrenner, L., & Rabeea, M. A. (2015). Kinetic approach to modeling the freezing porous media: Application to the food freezing . *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 110-123.
- Coleen Leygonie, T. J. (2012). Meat quality comparison between fresh and frozen-thawed ostrich *M. iliofibularis*. *Meat Science* , 364-368.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos . (2007). *Contenido de Agua en Carnes y Aves* . Washington D.C: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Donald Voet, J. G. (2006). *Fundamentos de Bioquímica, La vida a nivel molecular* . Madrid-España: editorial medica panamericana.
- HLEAP, J. I., & VELASCO, V. A. (2010). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE SALCHICHAS ELABORADAS A PARTIR DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 45-56.
- ICONTEC. (2008). *NTC 1325*. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- Interporc. (2015). *BARÓMETRO PORCINO*. Madrid : Interporc.
- Jiménez, Gastelum, & Rivera. (s.f.). CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA. *Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Universidad de Sonora* .
- Lana, A., & Zolla, L. (2016). Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. *Journal of Proteomics*, 13.
- Mariana Ultera, D. M. (2014). Temperature of frozen storage affects the nature and consequences of protein oxidation in beef patties. *Meat Science*, 1250-1257.
- Mitchel, H. S., Rynbergen, H. J., Anderson, L., & Dibble, M. V. (1970). *Nutrición y Dieta de Cooper*. Chicago: Editorial Interamericana S.A.



- Monica Anesse, L. M. (2012). Effect of Radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality . *Food Research International* , 50-54.
- Oillic, S., Lemoine, E., Gros, J.-B., & Kondjoyan, A. (2011). Kinetic analysis of cooking losses from beef and other animal muscles heated in a water bath — Effect of sample dimensions and prior freezing and ageing. *Meat Science*, 338-346.
- PLank, R. (2005). *El empleo del frío en la industria de la Alimentación*. Berlin: Reverté.
- R.G.M van der Sman, A. G. (2013). Ice crystal interspacing in frozen foods. *Journal of Food Engineering*, 622-626.
- Sánchez, I. C., & Albarracín, W. (2010). Análisis sensorial en carne. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 227-239.
- Seborg, D. E., Edgar, T. F., Millichamp, D. D., & III, F. J. (2004). *Process Dynamics and Control*. Santa Barbara California : John Wiley & Sons Inc.
- Smith, C. A., & Corripio, A. B. (1995). *Control Automático de Procesos* . Mexico D.F.: Editorial Limusa.
- Yang, H., He, J., Wei, W., Chu, W., Yu, S., Tian, Y., . . . Chen, J. (2016). The c-360 T + C mutation affects PGAM2 transcription activity and is linked with the water holding capacity of the longissimus lumborum muscle in pigs. *Meat Science*, 139-144.

## Anexos

### Anexo 1: tablas de Contenido de humedad y Capacidad de Retención de Agua

Tabla 9: Contenido de Humedad de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación lenta.

		PESO INICAL CRISOL	PESO INICIAL MUESTRA	PESO FINAL CRISOL	PiCrisol+PiMuestra	PESO FINAL DE LA MUESTRA	% HUMEDAD	BASE HUMEDA	BASE SECA
Control	Replica 1	36,9598	5,0019	38,6865	41,9617	3,2752	34,5217	65,4783	1,8967
	Replica 2	33,7238	4,8585	35,2999	38,5823	3,2824	32,4401	67,5599	2,0826
	Replica 3	35,2654	4,9927	36,9272	40,2581	3,3309	33,2846	66,7154	2,0044
	Replica 4	22,6213	4,9867	24,0023	27,6080	3,6057	27,6937	72,3063	2,6109
	Replica 5	27,4557	5,0690	28,6684	32,5247	3,8563	23,9239	76,0761	3,1799
	Replica 6	34,1906	4,9900	36,1208	39,1806	3,0598	38,6814	61,3186	1,5852
	Promedio	31,70276667	4,983133333	33,28419	36,6859	3,40171	31,7575349	68,2424651	2,2266366
	Desviación	5,497513224	0,068425336	5,69254512	5,479751698	0,2829948	5,22033119	5,22033119	0,57390509
Congelación Tradicional	Replica 1	27,2494	4,9630	27,6605	32,2124	4,5519	8,2833	91,7167	11,0725
	Replica 2	32,7241	5,0423	33,5858	37,7664	4,1806	17,0894	82,9106	4,8516
	Replica 3	28,9743	4,9987	30,3287	33,9730	3,6443	27,0950	72,9050	2,6907
	Replica 4	29,1082	5,0199	30,2546	34,1281	3,8735	22,8371	77,1629	3,3788
	Replica 5	30,1604	4,9036	31,4602	35,0640	3,6038	26,5071	73,4929	2,7726
	Replica 6	33,5727	5,0392	34,7366	38,6119	3,8753	23,0969	76,9031	3,3296
	Promedio	30,29818333	4,99445	31,3377333	35,29263333	3,9549	20,8181415	79,1818585	4,68262879
	Desviación	2,41206644	0,053293105	2,54300875	2,440275941	0,3577863	7,1001127	7,1001127	3,22507283
Congelación Rápida	Replica 1	27,9192	4,8464	29,2524	32,7656	3,5132	27,5091	72,4909	2,6352
	Replica 2	27,9858	4,8336	28,824	32,8194	3,9954	17,3411	82,6589	4,7666
	Replica 3	31,2506	5,0077	32,2948	36,2583	3,9635	20,8519	79,1481	3,7957
	Replica 4	33,4682	4,9963	34,284	38,4645	4,1805	16,3281	83,6719	5,1244
	Replica 5	28,9476	4,8826	29,8511	33,8302	3,9791	18,5045	81,4955	4,4041
	Replica 6	27,9764	4,8647	29,38	32,8411	3,4611	28,8528	71,1472	2,4659
	Promedio	29,5913	4,905216667	30,6477167	34,49651667	3,8488	21,5645671	78,4354329	3,86532025
	Desviación	2,288205867	0,076864125	2,16564054	2,359743516	0,29140668	5,3588294	5,3588294	1,11036635
Congelación Nitrógeno	Replica 1	32,8453	4,8787	33,4699	37,7240	4,2541	12,8026	87,1974	6,8109
	Replica 2	27,9253	5,0744	28,4721	32,9997	4,5276	10,7757	89,2243	8,2802
	Replica 3	24,3684	5,0059	25,3191	29,3743	4,0552	18,9916	81,0084	4,2655
	Replica 4	26,5268	4,9619	27,258	31,4887	4,2307	14,7363	85,2637	5,7860
	Replica 5	27,5112	4,9632	28,2881	32,4744	4,1863	15,6532	84,3468	5,3885
	Replica 6	25,9971	4,9497	26,8212	30,9468	4,1256	16,6495	83,3505	5,0062
	Promedio	27,52901667	4,9723	28,2714	32,50131667	4,22991667	14,9348052	85,0651948	5,92286783
	Desviación	2,890014914	0,064832183	2,78966294	2,854669139	0,16279503	2,89129768	2,89129768	1,43087856

Tabla 10: Contenido de Humedad de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación rápida.

		PESO INICIAL CRISOL	PESO INICIAL MUESTRA	PESO FINAL CRISOL	PiCrisol+PiMuestra	PESO FINAL DE LA MUESTRA	% HUMEDAD	BASE HUMEDA	BASE SECA
Control	Replica 1	35,9998	5,0823	37,5835	41,0821	3,4986	31,1611	68,8389	2,2091
	Replica 2	33,9248	5,0481	35,5169	38,9729	3,4560	31,5386	68,4614	2,1707
	Replica 3	35,7673	5,0593	37,6147	40,8266	3,2119	36,5149	63,4851	1,7386
	Replica 4	23,7216	5,0493	25,4719	28,7709	3,2990	34,6642	65,3358	1,8848
	Replica 5	28,4455	5,0681	30,3515	33,5136	3,1621	37,6078	62,3922	1,6590
	Replica 6	33,5916	5,0415	35,4223	38,6331	3,2108	36,3126	63,6874	1,7539
	Promedio	31,90843333	5,0581	33,66013333	36,9665333	3,3064	34,63320305	65,3667969	1,90269376
	Desviación	4,848609389	0,015100199	4,80787764	4,85246555	0,1401912	2,714499461	2,71449946	0,23431169
Congelación Tradicional	Replica 1	28,2697	5,0801	30,2265	33,3498	3,1233	38,5189	61,4811	1,5961
	Replica 2	33,9227	5,0183	35,6945	38,9410	3,2465	35,3068	64,6932	1,8323
	Replica 3	29,974	5,0469	31,8649	35,0209	3,1560	37,4666	62,5334	1,6690
	Replica 4	29,8062	5,0353	31,569	34,8415	3,2725	35,0088	64,9912	1,8564
	Replica 5	30,2674	5,0638	32,3058	35,3312	3,0254	40,2544	59,7456	1,4842
	Replica 6	33,2737	5,046	35,2632	38,3197	3,0565	39,4273	60,5727	1,5363
	Promedio	30,91895	5,0484	32,82065	35,96735	3,1467	37,66378813	62,3362119	1,66240513
	Desviación	2,197341469	0,021576283	2,17714652	2,18154558	0,09926677	2,153848717	2,15384872	0,15401559
Congelación Rápida	Replica 1	28,3192	5,0423	30,1067	33,3615	3,2548	35,4501	64,5499	1,8209
	Replica 2	28,0358	5,0711	29,7886	33,1069	3,3183	34,5645	65,4355	1,8931
	Replica 3	31,11	4,9983	32,9234	36,1083	3,1849	36,2803	63,7197	1,7563
	Replica 4	31,3182	5,0764	33,0659	36,3946	3,3287	34,4279	65,5721	1,9046
	Replica 5	27,9092	5,0423	29,6365	32,9515	3,3150	34,2562	65,7438	1,9192
	Replica 6	28,976	5,0763	30,7452	34,0523	3,3071	34,8522	65,1478	1,8693
	Promedio	29,27806667	5,051116667	31,04438333	34,3291833	3,2848	34,97186837	65,0281316	1,86056405
	Desviación	1,545691802	0,030390289	1,558532722	1,53858802	0,05538736	0,765391181	0,76539118	0,06157512
Congelación Nitrógeno	Replica 1	30,8351	5,0682	32,9069	35,9033	2,9964	40,8784	59,1216	1,4463
	Replica 2	28,1833	5,083	30,0534	33,2663	3,2129	36,7913	63,2087	1,7180
	Replica 3	24,5631	5,0709	26,6327	29,6340	3,0013	40,8133	59,1867	1,4502
	Replica 4	26,0248	5,0208	27,8249	31,0456	3,2207	35,8529	64,1471	1,7892
	Replica 5	27,3132	5,0707	29,2221	32,3839	3,1618	37,6457	62,3543	1,6563
	Replica 6	26,8931	5,0819	28,7759	31,9750	3,1991	37,0491	62,9509	1,6991
	Promedio	27,3021	5,065916667	29,23598333	32,3680167	3,13203333	38,17177141	61,8282286	1,62652366
	Desviación	2,124129136	0,02295974	2,150530581	2,12995251	0,10514066	2,150520852	2,15052085	0,14461994

Tabla 11: Capacidad de retención de agua de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación lenta.

		PESO INICIAL PAPEL	PESO INICIAL MUESTRA (masa inicial)	PESO FINAL PAPEL	Pimuestra+Pipapel inicial	PESO DE AGUA EN EL PAPEL	%AGUA EN EL MUSCULO Bh (Estimada)	AGUA CONTENIDA EN EL MUSCULO (g)	SOLUTOS DE LA MUESTRA	AGUA FINAL EN LA MUESTRA	PESO FINAL DE LA MUESTRA	(Cra g de agua retenida/100g de muestra) b.h
Control	Control 1	1,7064	1,5823	2,0245	3,2887	0,4422	68,2425	1,0798	0,5025	0,1844	0,3181	11,6539
	Control 2	1,6759	1,5649	1,9560	3,2408	0,3911	68,2425	1,0679	0,4970	0,2169	0,2801	13,8586
	Control 3	1,6714	1,5692	1,9568	3,2406	0,3876	68,2425	1,0709	0,4983	0,2129	0,2854	13,5699
	Promedio	1,6846	1,5721	1,9791	3,2567	0,4070	68,2425	1,0729	0,4993	0,2047	0,2945	13,0275
	Desviación	0,01904162	0,0090633	0,03931959	0,02771299	0,0305631	0	0,00618502	0,00287828	0,01772273	0,02058065	1,19829156
Congelación Tradicional	C.T 1	1,6946	1,4973	2,0135	3,1919	0,5162	79,1819	1,1856	0,3117	0,0072	0,3189	4,4802
	C.T 2	1,6894	1,5635	2,0795	3,2529	0,5160	79,1819	1,2380	0,3255	0,0646	0,3901	4,1323
	C.T 3	1,6844	1,5100	2,0567	3,1944	0,5467	79,1819	1,1956	0,3144	0,0579	0,3723	3,8375
	Promedio	1,68946667	1,5236	2,0499	3,21306667	0,5263	79,1818585	1,2064148	0,3171852	0,04324813	0,36043333	2,81665778
	Desviación	0,00510033	0,03513303	0,03352134	0,03451932	0,0176672	0	0,02781899	0,00731404	0,03140446	0,03705365	2,02879746
Congelación Rápida	C.R 1	1,6874	1,5108	2,0999	3,1982	0,5891	78,4354	1,1850	0,3258	0,0867	0,4125	5,7388
	C.R 2	1,7029	1,5561	2,0607	3,2590	0,5046	78,4354	1,2205	0,3356	0,0222	0,3578	4,4288
	C.R 3	1,6933	1,5207	2,1058	3,2140	0,5851	78,4354	1,1928	0,3279	0,0846	0,4125	5,5611
	Promedio	1,69453333	1,5292	2,0888	3,22373333	0,5596	78,4354329	1,19943464	0,32976536	0,06450131	0,39426667	4,24292022
	Desviación	0,01063814	0,03351164	0,08711402	0,03045374	0,09862111	0	0,02850674	0,0050049	0,0777673	0,07692427	5,00485288
Congelación Nitrógeno	C.N 1	1,6807	1,5704	1,9222	3,2511	0,3518	85,0652	1,3359	0,2345	0,0070	0,2415	0,4434
	C.N 2	1,7016	1,5532	2,0958	3,2548	0,5426	85,0652	1,3212	0,2320	0,1622	0,3942	10,4451
	C.N 3	1,6946	1,5057	1,9962	3,2003	0,4905	85,0652	1,2808	0,2249	0,0767	0,3016	5,0957
	Promedio	1,6923	1,5431	2,00473333	3,2354	0,46163333	85,0651948	1,31264102	0,23045898	0,08197435	0,31243333	5,32808119
	Desviación	0,01063814	0,03351164	0,08711402	0,03045374	0,09862111	0	0,02850674	0,0050049	0,0777673	0,07692427	5,00485288



Tabla 12: Capacidad de retención de agua de las muestras tratadas con todas las técnicas de congelación y descongelación rápida.

		PESO INICIAL PAPEL	PESO INICIAL MUESTRA (masa inicial)	PESO FINAL PAPEL	Pimustra+Pipa pel inicial	PESO DE AGUA EN EL PAPEL	%AGUA EN EL MUSCULO Bh (Estimada)	AGUA CONTENIDA EN EL MUSCULO (g)	SOLUTOS DE LA MUESTRA	AGUA FINAL EN LA MUESTRA	PESO FINAL DE LA MUESTRA	(Gra g de agua retenida/100g de muestra) b.h
Control	Control 1	1,6940	1,5414	2,0242	3,2354	0,4828	65,3668	1,0076	0,5338	0,2036	0,3302	13,2111
	Control 2	1,7058	1,4967	1,9786	3,2025	0,4819	65,3668	0,9783	0,5184	0,2456	0,2728	16,4064
	Control 3	1,6804	1,5512	2,0209	3,2316	0,4697	65,3668	1,0140	0,5372	0,1967	0,3405	12,6825
	Promedio	1,6934	1,5298	2,0079	3,2232	0,4781	65,3668	1,0000	0,5298	0,2153	0,3145	14,1000
	Desviación	0,01271063	0,02905277	0,02542813	0,01799843	0,00731733	0	0,01899086	0,0100619	0,02642209	0,03647862	2,01484442
Congelación Tradicional	C.T 1	1,6675	1,5880	1,9776	3,2555	0,3896	62,3362	0,9899	0,5981	0,2880	0,3101	18,1361
	C.T 2	1,7010	1,5818	2,0362	3,2828	0,4544	62,3362	0,9860	0,5958	0,2606	0,3352	16,4727
	C.T 3	1,6777	1,5467	2,0113	3,2244	0,4646	62,3362	0,9642	0,5825	0,2489	0,3336	16,0953
	Promedio	1,68206667	1,57216667	2,00836667	3,25423333	0,4362	62,3362119	0,98002914	0,59213752	0,26583752	0,3263	16,9013692
	Desviación	0,01717159	0,02227158	0,02940992	0,0292206	0,04067776	0	0,01388326	0,00838832	0,02005416	0,0140524	1,08581821
Congelación Rapida	C.R 1	1,6868	1,5019	2,0185	3,1887	0,5166	65,0281	0,9767	0,5252	0,1935	0,3317	12,8865
	C.R 2	1,6914	1,5244	2,0332	3,2158	0,5088	65,0281	0,9913	0,5331	0,1913	0,3418	12,5499
	C.R 3	1,6998	1,5179	2,0328	3,2177	0,5149	65,0281	0,9871	0,5308	0,1978	0,3330	13,0337
	Promedio	1,69266667	1,51473333	2,02816667	3,2074	0,51343333	65,0281316	0,98500279	0,52973055	0,19423055	0,3355	12,8233687
	Desviación	0,00659191	0,01157944	0,00837397	0,01622252	0,00410163	0	0,00752989	0,00404955	0,00331737	0,00549454	0,24797049
Congelación Nitrógeno	C.N 1	1,6959	1,5061	1,9463	3,2020	0,4402	61,8282	0,9312	0,5749	0,3245	0,2504	21,5460
	C.N 2	1,6984	1,5025	1,9299	3,2009	0,4274	61,8282	0,9290	0,5735	0,3420	0,2315	22,7641
	C. N3	1,7185	1,5179	1,9598	3,2364	0,4419	61,8282	0,9385	0,5794	0,3381	0,2413	22,2748
	Promedio	1,70426667	1,50883333	1,94533333	3,2131	0,4365	61,8282286	0,93288492	0,57594841	0,33488174	0,24106667	22,1949918
	Desviación	0,01238965	0,00805564	0,01497342	0,02018589	0,00792654	0	0,00498066	0,00307498	0,00919791	0,00945216	0,61294416



## Anexo 2: Glosario Descriptores sensoriales. <sup>2</sup>

### Olor

- Cárnico: olor característico a carne.
- Salado: olor en el que el cloruro de sodio es típico.
- Grasoso: compuestos aromáticos asociados con grasa animal cocinada.
- Caramelizado: compuestos aromáticos asociados generalmente con carne que ha sido asada.
- Asado: aromático asociado a los jugos de la carne y la grasa cuando caen sobre carbón, que puede recordar a la madera quemada.

### Sabor

- Grasoso: sabor característico de la grasa animal cocinada.
- Salado: sabor en el que el cloruro de sodio es típico.
- Cárnico: cantidad de sabor a carne en la muestra.
- Asado: sabor asociado a la carne de cerdo que se ha asado o parrillado.
- Dulce: factor fundamental del sabor asociado con la sacarosa.
- Amargo: factor fundamental de sabor asociado con una solución de cafeína.

### Textura

- Fibroso: evaluación de la percepción de fibras que se produce durante el proceso de masticación.
- Grasoso: evaluación de la película oleosa/grasa que queda en la superficie de la boca después de la ingestión de la muestra.
- Gomoso: nivel en que la muestra se deforma antes de romperse.
- Dureza: evaluación de la fuerza necesaria para comprimir la muestra entre los molares durante el primer mordisco.
- Suave: evaluación de la sensación de ablandamiento progresivo.

### Color

- Rosado: color que se describe como rojo aclarado.
- Brillante: nivel en que la luz se refleja en la superficie de la muestra, asociado con la grasa de la misma.
- Café: coloración más característica de la madera.
- Beige: color café muy claro, como el de la arena.
- Opaco: nivel en que la luz es bloqueada para pasar a través de la muestra.

---

<sup>2</sup> Estos descriptores fueron definidos en conjunto con la profesora de Análisis Sensorial del programa de Gastronomía Annamaría Filomena y la estudiante Daniela Quintero



### Anexo 3: Análisis de Varianza de los descriptores organolépticos

Tabla 13: Análisis de varianza de los descriptores organolépticos.

	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Olor</b>	Entre grupos	0,11	2,00	0,06	0,67	0,53	3,89
	Dentro de los grupos	1,03	12,00	0,09			
<b>Sabor</b>	Entre grupos	0,11	2,00	0,06	0,08	0,92	3,68
	Dentro de los grupos	10,60	15,00	0,71			
<b>Textura</b>	Entre grupos	0,01	2,00	0,00	0,01	0,99	3,89
	Dentro de los grupos	2,15	12,00	0,18			
<b>Color</b>	Entre grupos	0,00	2,00	0,00	0,01	0,99	3,89
	Dentro de los grupos	3,08	12,00	0,26			