



**BENEMÉRITA UNIVERDIDA AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**INFLUENCIA DEL USO DEL ULTRASONIDO DE ALTA  
INTENSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE  
TRATAMIENTO EN LAS PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS DE LA CARNE FRESCA DE CERDO  
(LONGISSIMUS DORSI)**

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIATURA EN:**

**INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**EVA PRISCILA CORONA BARROSO**

**ASESORA DE TESIS:**

**DRA. EDITH CORONA JIMÉNEZ**

**CO-ASESOR DE TESIS:**

**DR.HÉCTOR RUÍZ ESPINOSA**

**ENERO 2018**

# AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Cuerpo Académico Consolidado “Innovación en Tecnología para el Desarrollo de Procesos Alimenticios”, debido a que la presente tesis se desarrolló dentro de sus instalaciones, así como por el otorgamiento de una beca, bajo el marco del Plan de Trabajo del Cuerpo Académico 2016.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP), por el apoyo económico brindado para la adquisición del material utilizado en el desarrollo del presente trabajo, dentro del “Programa Institucional de Fomento a la Investigación y a la Consolidación de Cuerpos Académicos”, con ID Proyecto: 00660, el cual está bajo la dirección de la Dra. Edith Corona Jiménez.

A mi asesora de tesis, la Dra. Edith Corona Jiménez, por haberme brindado la oportunidad de el desarrollo de este proyecto y la confianza depositada, así como haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante el desarrollo del proyecto.

A mi co-asesor de tesis, Dr. Héctor Ruíz Espinosa por su asesoría y apoyo para el desarrollo del proyecto.

A los miembros del jurado, Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre y la Dra. Mayra Ruíz Reyes por tomarse el tiempo para evaluar este proyecto y por sus valiosas contribuciones al mismo.

A mi familia, a mis padres Roberto Corona Gómez y Eva Patricia Barroso Chávez por darme su paciencia infinita y ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, a mis hermanos Luis Roberto Corona Barroso y Brenda Cecilia Corona Barroso, quienes son mi mas grande amor e incitandome siempre a seguir adelante.

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto por darme la oportunidad de vivir, haberme dado salud para lograr mis objetivos y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>I ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
1.1 La carne . . . . .	2
1.1.1 Definición . . . . .	2
1.1.2 Composición química de la carne . . . . .	2
1.1.2.1 Agua . . . . .	2
1.1.2.2 Proteína . . . . .	3
1.1.2.3 Lípidos . . . . .	5
1.1.2.4 Carbohidratos . . . . .	5
1.1.2.5 Minerales . . . . .	6
1.1.3 Partes de una canal de cerdo . . . . .	6
1.1.4 Calidad de la carne . . . . .	8
1.1.4.1 Terneza de la carne . . . . .	8
1.2 Tecnologías emergentes . . . . .	9
1.2.1 Altas presiones . . . . .	9
1.2.2 Infrarrojo . . . . .	10
1.2.3 Ultrasonicación . . . . .	11
1.3 Ultrasonidos . . . . .	12
1.3.1 Generalidades . . . . .	12
1.3.2 Clasificación . . . . .	12
1.3.2.1 Ultrasonidos de señal . . . . .	13
1.3.2.2 Ultrasonidos de potencia . . . . .	15

<b>II OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1 Objetivo general . . . . .	18
2.2 Objetivos específicos . . . . .	18
<b>III METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
3.1 Plan de trabajo . . . . .	19
3.2 Materia prima . . . . .	19
3.3 Métodos . . . . .	20
3.3.1 Tratamiento con ultrasonido en carne . . . . .	20
3.3.2 Rendimiento exudativo . . . . .	23
3.3.3 Pérdidas por cocción . . . . .	23
3.3.4 pH . . . . .	24
3.3.5 Capacidad de retención de agua . . . . .	24
3.3.6 Colorimetría . . . . .	24
3.3.7 Humedad . . . . .	24
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>25</b>
4.1 Rendimiento exudativo . . . . .	25
4.2 Pérdidas por cocción . . . . .	26
4.3 pH . . . . .	28
4.4 Capacidad de retención de agua . . . . .	29
4.5 Humedad . . . . .	31
4.6 Color . . . . .	32
<b>V CONCLUSIONES</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>37</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Proteínas miofibrilares . . . . .	4
1.2	Canal de cerdo . . . . .	7
1.3	Escala del espectro electromagnético . . . . .	11
1.4	Escala de ultrasonido . . . . .	13
1.5	Fenómeno de cavitación . . . . .	16
3.1	Plan de trabajo . . . . .	19
3.2	Proceso de corte de pieza de lomo . . . . .	20
3.3	Tratamiento control . . . . .	21
3.4	Tratamiento con ultrasonidos . . . . .	22
4.1	Rendimiento exudativo RE(%) . . . . .	26
4.2	Pérdidas por cocción PPC(%) . . . . .	27
4.3	pH . . . . .	29
4.4	Capacidad de retención de agua CRA(%) . . . . .	30
4.5	Porcentaje de humedad (H%) . . . . .	32
4.6	Luminosidad ( <i>L</i> ) . . . . .	33
4.7	Porcentaje de variación de color: (A; a y B; b). Valor promedio ± intervalos LSD ( $p < 0.05\%$ ) ( $n=3$ ) . . . . .	34

# ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Composición química de la carne . . . . .	2
1.2	Aplicación de los ultrasonidos de señal . . . . .	15

# INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria cárnica tiene un interés más fuerte por llevar a cabo procesos que cuenten con tecnologías que sean capaces de generar alimentos frescos, inocuos y de calidad, los cuales satisfagan las necesidades del consumidor. En este sentido, varios métodos han sido utilizados para elaborar y conservar productos cárnicos listos para el consumo, no obstante, muchos componentes y productos vitales del alimento son bien conocidos por ser térmicamente sensibles y vulnerables a los cambios químicos, físicos y microbiológicos. Muchas veces dichas técnicas afectan las propiedades sensoriales de los alimentos como consecuencia de los cambios fisicoquímicos que éstos producen en los mismos. Además de las pérdidas de algunos compuestos, la baja producción, eficiencia, el alto consumo de energía y tiempos prolongados de procesamiento, son obstáculos que se pueden encontrar en estos métodos convencionales. No solo las industrias alimentarias son el único sector interesado en mejorar la calidad de la carne con nuevos métodos, ya que el aumento de la demanda de los consumidores por la calidad, la variedad y conveniencia ha provocado el desarrollo de muchos productos nuevos. Sin embargo, la seguridad y calidad de los alimentos son las principales prioridades de las autoridades y los consumidores de todo el mundo. En lo que se refiere a los alimentos cárnicos (musculares), los consumidores buscan alta calidad, aspectos frescos y nutrientes. Además, productos seguros y naturales sin aditivos como conservantes están siendo exigidos (Hugas et al., 2002). La producción y el procesamiento de la carne y los productos de peces sin comprometer la seguridad y la calidad, está estimulando un tema importante de investigación para desarrollar y aplicar tecnologías alternativas como un procesamiento mínimo (Aymerich et al., 2008). Uno de los atributos más importantes en la carne es su terneza la cual, se ve influenciada por la composición, organización estructural y la integridad del músculo esquelético y que a su vez, afecta la satisfacción del consumidor y la percepción positiva (Jayasooriya et al., 2004). Por lo tanto, la búsqueda de nuevos métodos o técnicas que sean una alternativa sostenible en diversas operaciones del procesamiento, que impliquen un mínimo cambio sensorial y menor consumo de tiempo y de energía de proceso, son de interés para la industria de los productos cárnicos.

# I. ANTECEDENTES

## 1.1. La carne

### 1.1.1. Definición

En general, se llama carne a todo componente o derivado animal, fresco, o transformado que por su valor nutritivo y comestible es utilizado por el hombre para alimentarse, o satisfacer un gusto. Específicamente, se llama carne al tejido muscular después de su sacrificio (Bavera, 2005). La carne se divide en dos categorías: carne roja y carne blanca.

### 1.1.2. Composición química de la carne

La carne de cerdo se caracteriza por contar con un elevado contenido de agua (75 %) (Tabla 1.1.) seguido en contenido elevado de proteína (20 %), por su alto nivel de aminoácidos, por lo que constituye una importante fuente de proteínas. además, cuenta con un 3 % de lípidos y 1 % de Carbohidratos, que está representado por glicolípidos, así como un 1 % de minerales.

Componente	Contenido (%)
Agua	75.0
Proteína	20.0
Lípidos	3.0
Carbohidratos	1.0
Minerales	1.0

Tabla 1.1. Composición química de la carne

#### 1.1.2.1. Agua

Cuantitativamente representa del 75-76 % de la carne roja magra, razón por la cual tiene influencia sobre la calidad de la carne afectando la jugosidad, consistencia, terneza, color y sabor (Restrepo et al., 2001). El contenido de humedad en la carne es importante principalmente en el tejido muscular magro; el tejido adiposo por su

misma naturaleza, no contribuye a incrementarlo, por lo tanto a mayor contenido de grasa de un corte menor contenido de humedad (Restrepo et al., 2001).

#### 1.1.2.2. Proteína

Como se menciona anteriormente la carne esta constituida principalmente de agua y proteínas, estas últimas son de gran importancia en su estructura. Las proteínas se dividen en tres grandes grupos: miofibrilares sarcoplasmáticas y proteínas de tejido conectivo.

- Las proteínas miofibrilares están divididas en 3 subclases: las fibras de proteína de miofilamentos que son la actina y miosina, que construyen la estructura miofibrilar, las proteínas reguladoras que son la tropomiosina, complejo alfa y beta actina, entre otras, y por último las proteínas estructurales que son las que soportan toda la estructura miofibrilar. Las proteínas miofibrilares son solubles en soluciones salinas concentradas, representan aproximadamente el 9,5 % del total del músculo (Restrepo et al., 2001).
- Las proteínas sarcoplasmáticas son solubles en agua o en soluciones salinas diluidas y representan aproximadamente el 6 % del total del músculo (Restrepo et al., 2001).
- El tejido conectivo conforma toda la estructura, con un recubrimiento externo alrededor de todo el músculo. En este grupo se encuentran las proteínas de colágeno, reticulina y elastina que son fibras de proteína (Tornberg, 2005). El colágeno es uno de los componentes intramusculares del tejido conectivo y está íntimamente relacionado con la terneza o suavidad de la carne y otras propiedades de calidad de ésta (Torrescano et al., 2003). Es el principal constituyente del tejido conectivo y juega un papel muy importante ya que es el encargado de la unión entre varias células (Torrescano et al., 2003). El colágeno es una glicoproteína y es el principal componente estructural del tejido conectivo (cerca del 55-95 % de contenido seco) es compuesto por moléculas de tropocolágeno (Tornberg, 2005). Estas fibras y racimos en el endomisio están entretejidos en una fina estructura que encierra miofibras individuales. Los enlaces de las fibras del colágeno son los que le confieren estabilidad térmica al mismo. Las proteínas del tejido conectivo llamadas también proteínas del

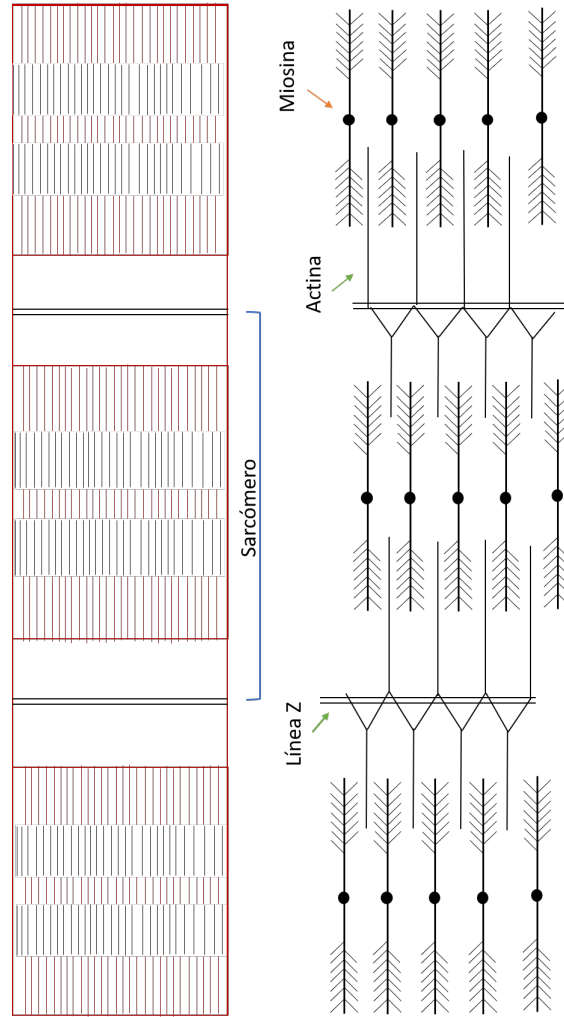


Figura 1.1. Proteínas miofibrilares

estroma, son insolubles a baja temperatura, en soluciones salinas concentradas (Restrepo et al., 2001), dependiendo de las condiciones a las que se someta el colágeno varía su solubilidad generándonos colágeno soluble o insoluble.

### **1.1.2.3. Lípidos**

La carne posee numerosos lípidos, desempeñando algunos de ellos funciones importantes en el metabolismo como los ácidos grasos esenciales, el colesterol, los fosfolípidos y las vitaminas liposolubles. En el animal se encuentran dos tipos de grasas:

- Grasa orgánica, es decir, la grasa estructural de la célula cuya composición no varía con el alimento y no es móvil.
- Grasa de depósito la cual es colocada en el tejido conectivo, formando la grasa abdominal, dorsal y renal. Cambia con la dieta y de ella obtiene el animal su energía. La composición de la grasa que depositan muchos animales tiende a parecerse a la grasa de la dieta, esto ocurre con más frecuencia en el cerdo que en el bovino, debido a que la dieta del cerdo se presta más para la inclusión de ingredientes grasos de diferente composición, y porque los microorganismos del rumen tienen la capacidad de uniformizar la composición de los nutrientes asimilados (Restrepo et al., 2001).

### **1.1.2.4. Carbohidratos**

Los carbohidratos se encuentran en todos los tejidos de los animales aunque en menor proporción que en los vegetales. Se presentan libres o formando parte de los ácidos nucleicos, nucleósidos, nucleótidos; son fuente de energía para el músculo y hacen parte de las sustancias de reserva del organismo. La mayor proporción de los hidratos de carbono que hacen parte del músculo son polisacáridos complejos, muchos de ellos unidos a componentes proteicos (Restrepo et al., 2001). El glucógeno es el principal carbohidrato encontrado en casi todos los tejidos; este es el polímero de la glucosa. La glucólisis es el proceso de degradación del glucógeno; ocurre anaeróbicamente y es responsable de la acumulación de ácido láctico que tiene lugar en el músculo postmortem. Existen casos anormales de la glucólisis post mortem, los cuales nos generan carne con características diferentes. Estas dos causas se generan

cuando el animal es sacrificado en estado anoxico (falta de oxígeno). Como describe Restrepo et al. (2001), una de ellas ocurre cuando en el músculo posmortem se acumula gran cantidad de ácido láctico a temperaturas altas, próximas 36 a la temperatura corporal (39°C), dando lugar a la desnaturalización de algunas proteínas sarcoplasmáticas que precipitan sobre las miofibrilares, ocasionando un fenómeno óptico que hace ver la carne pálida, además de húmeda y suelta. Por otra parte si el sacrificio se produce una vez se hayan agotado las reservas de glucógeno, sin haberse permitido la recuperación de estas, el músculo posmortem presentará un pH alto, la carne se verá más oscura y tendrá una apariencia seca.

#### **1.1.2.5. Minerales**

Solamente el 3.5 % del peso corporal del animal es de naturaleza inorgánica o mineral y está constituido por Calcio, Fósforo, Potasio, Azufre, Sodio, Cloro, Hierro y Magnesio; encontrándose elementos como el Manganeso, Cobre, Iodo, Zinc y Cobalto en cantidades traza pero que son esenciales para la función metabólica normal (Price et al, 1976). Algunas propiedades importantes que confieren los minerales a la carne son la jugosidad y terneza de ésta, las cuales se ven afectadas a través de los cambios que sufren los tejidos del animal al pasar del estado vivo a posmortem, siendo el más importante el relacionado con la membrana celular y la habilidad de las células para retener las máximas cantidades de agua en ellas, afectando así estas dos propiedades. Estas acciones se realizan a través del equilibrio osmótico el cual incide en el mantenimiento de una concentración normal de iones en el fluido extracelular ocasionando que el agua permanezca en el interior de la célula favoreciendo la jugosidad (Restrepo et al., 2001).

#### **1.1.3. Partes de una canal de cerdo**

De forma genérica, se entiende por canal el cuerpo del animal tras el desangrado y la retirada de las partes no adecuadas para consumo humano, las vísceras y otras porciones (Prändl, 1994)(Fig.1.2). Específicamente se describe la canal como el cuerpo de un cerdo sacrificado, sangrado y eviscerado, entero o dividido por la mitad, sin la lengua, las cerdas, las pezuñas y los órganos genitales, pero con la manteca, los riñones y el diafragma (Galián Jiménez et al., 2008).

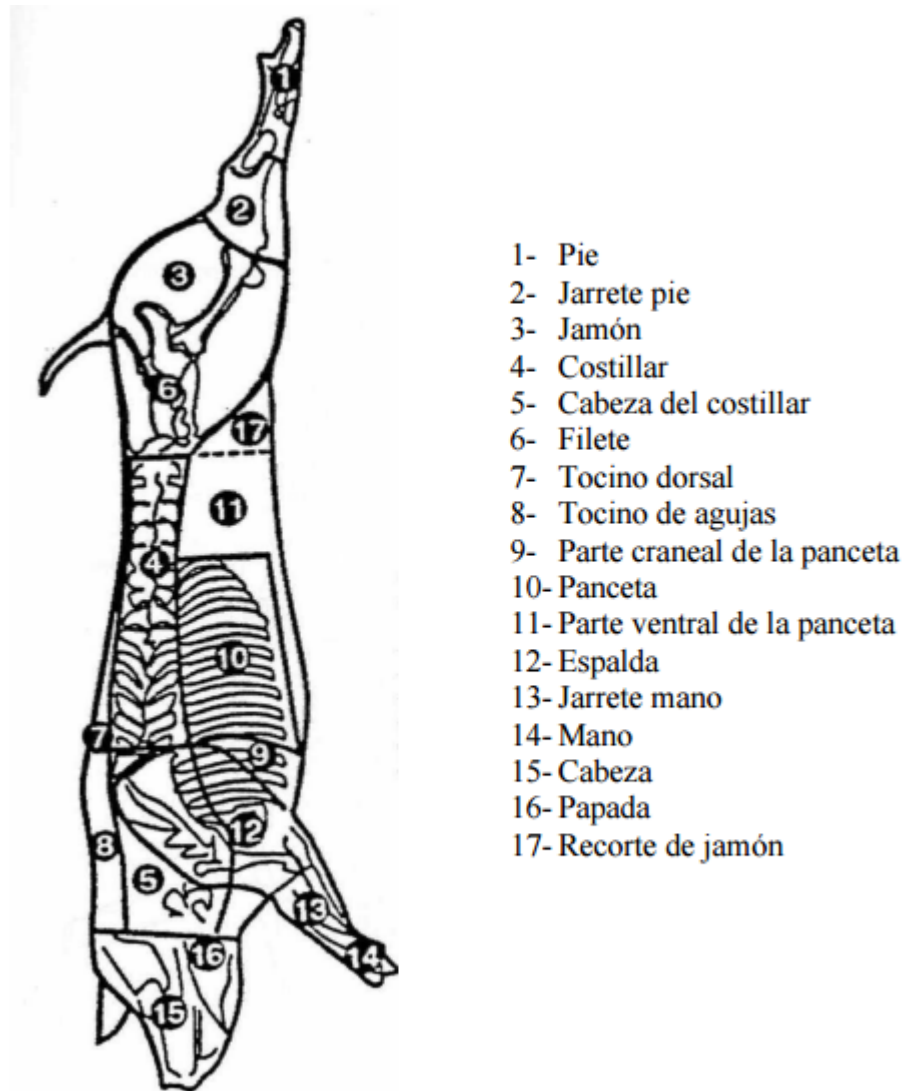


Figura 1.2. Canal de cerdo

El peso de la canal al sacrificio viene determinado por diversos factores: genotipo, edad, sexo, condiciones de alojamiento y alimentación, etc. Factores que pueden afectar de forma directa o indirecta al peso de la canal y que debemos conocer para poder controlarlos si queremos obtener con las mismas edades de sacrificio unos pesos de canales similares y uniformes (Ciriá and Garcés, 1996).

Una vez obtenida la canal de los cerdos se procede a el despiece de la canal. Estas piezas estarán destinadas a la comercialización y posterior consumo en fresco, o serán transformadas en productos cárnicos, de manera que se aumentará su valor

económico, vida útil, facilidad culinaria o valor alimenticio (Galián Jiménez et al., 2008). Entre las que se incluirían el jamón, el costillar (comprendiendo el lomo), la cabeza del lomo y, dependiendo de la cotización de mercado, la paleta o espalda. Las piezas de menor valor que son aquellas que presentan mayor cantidad de grasa o hueso (Poto, 2003).

#### **1.1.4. Calidad de la carne**

En general cuando se hace referencia a la calidad de la carne, inmediatamente se tienen en cuenta parámetros como terneza, color, jugosidad, sabor y aroma (flavor), vida útil de la carne y conformación. La calidad de la carne depende de un conjunto de factores productivos. Estos son la edad, el sexo y la raza. Las diferencias de calidad de carne vinculadas con la edad del animal, se deben a cambios profundos en la composición y características de los músculos. La terneza se encuentra claramente afectada por la edad, la mayoría de las investigaciones concuerdan en que las diferencias en la terneza se producen entre los 18 y los 42 meses de edad. A mayor edad menor terneza. Entre los 42 y 90 meses no se encuentran diferencias en la terneza. La intensidad del color de la carne aumenta con la edad por la mayor tasa de acumulación de mioglobina, cuyo contenido crece rápidamente en el músculo hasta los dos años de edad, a partir de donde el aumento es menos elevado. La jugosidad disminuye a medida que aumenta la edad. El flavor, combinación de aroma y sabor, aumenta con la edad, esto es atribuido a un aumento en la tasa de grasa intramuscular. La calidad de la carcasa depende fundamentalmente de las proporciones relativas de los músculos y de los depósitos adiposos que ella contiene. Estos factores están relacionados estrechamente con el peso de faena, lógicamente según raza o tipo racial, edad y sexo. El peso de faena, debe mantener una relación con un nivel mínimo de engrasamiento, que va a variar con los factores antes mencionados y el tipo de mercado a abastecer.

##### **1.1.4.1. Terneza de la carne**

La terneza, jugosidad y sabor son atributos importantes de la calidad de la carne ya que afectan la satisfacción del consumidor. La terneza de la carne está determinada por dos componentes principales:

- Músculo esquelético: tejido contráctil, que comprende principalmente la fracción miofibrilar.
- Tejido conjuntivo: que determina la dureza de la carne (Tarrant, 1998).

La terneza de la carne es principalmente influenciada por los cambios microestructurales de componentes inducidos por métodos físicos (por ejemplo, mecánicos de tenderización) o métodos bioquímicos (por ejemplo, la adición de la calpaína) (Koochmaraie, 1994,9). La asociación entre la terneza de la carne y las propiedades del tejido conjuntivo han sido ampliamente estudiadas (Chang et al., 2011; Ngapo et al., 2002; Purslow, 2005).

## **1.2. Tecnologías emergentes**

Las tecnologías emergentes surgen como un método alternativo que implican una transformación sustancial de alimentos con calidad fresca que contiene sólo ingredientes naturales. Hay dos razones principales para adaptar un mínimo de procesamiento de alimentos; en primer lugar, la oferta de productos seguros y más frescos con menos pérdidas posibles en nutrientes y en segundo lugar la entrega de productos de alta calidad a los consumidores (Ahvenainen, 1996). Estas técnicas se utilizan solas o en combinación de dos o más para lograr el producto con atributos deseados. Tales enfoques pueden ser categorizados en diferentes tipos de técnicas, las térmicas, las no térmicas, la aplicación de biopreservación, aplicación de antimicrobianos naturales, así como aplicaciones de técnicas de obstáculo.

### **1.2.1. Altas presiones**

La aplicación de altas presiones como tecnología para aplicaciones en alimentos ha sido uno de los más exitosos hasta el momento ya que forma parte de las tecnologías no térmicas manteniendo así una mejora en la estructura y propiedades de los alimentos. Con esta tecnología se puede dar tratamiento a temperatura ambiente o más bajas. El procesamiento de alta presión (HPP) trata el producto estáticamente a 100 MPa o por encima de él mediante un transmisor de líquido. En la carne cruda hasta la fecha HPP (high pressure porcesing) se ha utilizado para aumentar la ternura con una funcionalidad mejorada cambiando la composición molecular de la carne, mejora las propiedades de los geles y modificar las propiedades texturales

de biopolímeros tales como proteínas y polisacáridos que producen productos de tipo gel (Siddiqui et al., 2015). La presurización influye en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las proteínas cárnicas y musculares como la gelificación y la capacidad de fijación del agua (Colmenero, 2002; Sun and Holley, 2010).

### 1.2.2. Infrarrojo

El infrarrojo es una fuente de calor única y su energía térmica se absorbe principalmente en superficies de alimentos sólidos pero tiene una capacidad de penetración muy limitada. La exposición de un objeto a una fuente de calentamiento por infrarrojos causa que su superficie aumente la temperatura seguido por la transferencia de calor al centro de la comida sólida por conducción. Los hornos de cocción convencionales hacen uso de aire caliente a alta velocidad, causando en la carne deterioro en la superficie, oxidación y carbonización (Figura 1.3).

Por lo tanto el método de infrarrojos ha llamado la atención de los sectores de alimentos y carnes procesadas para superar estos problemas. Braeckman et al. (2009) observaron la influencia de los infrarrojos en condiciones de calor de cocción de aire combinado, sobre la calidad y atributos sensoriales de la carne. El método de calentamiento por infrarrojos inactiva microorganismos patógenos al dañar sus componentes intracelulares, tales como ADN, ARN, ribosomas, envoltura celular, y/o proteínas de la célula (Krishnamurthy et al., 2008). El calentamiento por infrarrojos se utiliza para la pasteurización de salchichas para matar *L. monocytogenes* contaminados en su superficie inmediatamente antes del embalaje final y para reducir el riesgo de listeriosis transmitida por estos productos (Huang, 2004).

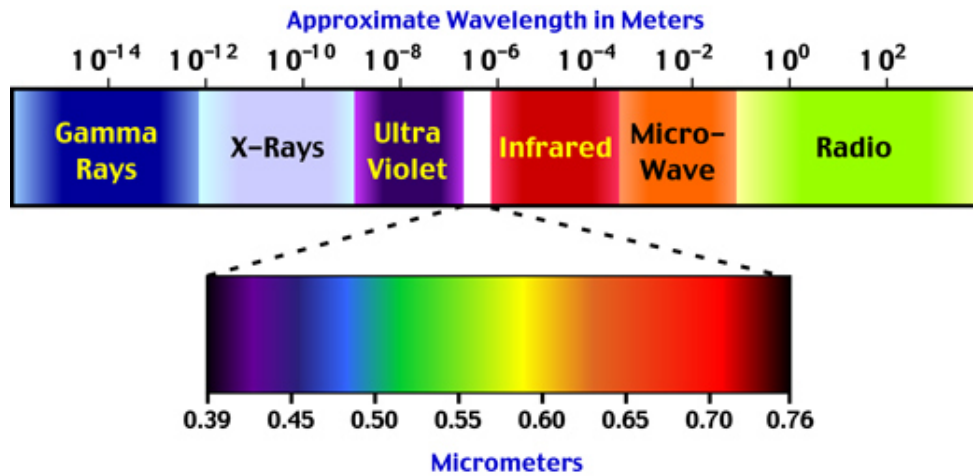


Figura 1.3. Escala del espectro electromagnético

### 1.2.3. Ultrasonicación

Físicamente una onda sonora consiste en una perturbación mecánica de un medio (gas, líquido o sólido) que lo atraviesa a una velocidad determinada. El ritmo al cual las partículas del medio vibran durante tal perturbación, es la frecuencia o nivel del sonido y se mide en Hertz (ciclos/segundo). Conforme esta frecuencia aumenta (el sonido se hace más agudo) y se va acercando a 20 KHz aproximadamente, el sonido deja de ser audible por el oído humano. Es por ello que aquellas perturbaciones u ondas sonoras que presenten una frecuencia superior a 20 KHz son conocidas como ultrasonido. Según Hoover. (2000), define ultrasonido como una forma de energía que viaja en ondas de sonido iguales o mayores a 20,000 vibraciones por segundo. Otra definición según (Mason, 1990), lo establece como cualquier sonido con frecuencia más allá de lo que el oído humano puede percibir (16 KHz) (Robles-Ozuna and Ochoa-Martínez, 2012). Día a día el sector agroalimentario invierte grandes esfuerzos en el desarrollo de métodos y tecnologías innovadoras para el procesamiento, conservación e higienización de alimentos. En este sentido, la aplicación de ultrasonido y tratamiento térmico suave (<100 °C) ha dado lugar al procedimiento denominado termo-ultrasonicación. La combinación con incrementos de presión (<600 MPa) se denomina mano-sonicación, mientras que las tres estrategias de forma conjunta se conocen como manotermosonicación (Knorr et al., 2004). El ultrasonido es actualmente una de las tecnologías en fase de inves-

tigación de mayores perspectivas para la conservación de alimentos (Robles-Ozuna and Ochoa-Martínez, 2012).

## **1.3. Ultrasonidos**

### **1.3.1. Generalidades**

El ultrasonido ésta compuesto de ondas de sonidos con frecuencias debajo del límite audible humano. Debido a la sintonización de la frecuencia el ultrasonido puede ser utilizado en muchas aplicaciones industriales incluyendo los alimentos. Las técnicas de ultrasonido son relativamente baratas, simples, conservadoras de energía y sobretodo forman parte de las llamadas tecnologías emergentes las cuales ofrecen en productos alimenticios mayor frescura ya que el procesamiento es mínimo y por consiguiente menor pérdida de nutrientes dando un producto con mayor calidad al consumidor.

En función de la frecuencia, las ondas acústicas se pueden dividir en cinco grupos: infrasonidos (frecuencia <20Hz), espectro audible (20Hz-18kHz), ultrasonidos de alta intensidad (20-100kHz), de baja intensidad (100kHz-1MHz) y de diagnóstico (>1MHz).

### **1.3.2. Clasificación**

Las ondas ultrasónicas (alta intensidad y baja intensidad) pueden clasificarse también debido a su función.

Las ondas de potencia o alta intensidad (baja frecuencia) que van desde los 20KHz - 100KHz ofrecen cambios mecánicos, físicos, químicos y biológicos mediante la cavitación, las cuales apoyan muchos procesos de operación alimentaria como es a extracción, congelado, secado, emulsificación e inactivación de bacterias patógenas que entran en contacto con la superficie del alimento (Awad et al., 2012). También se han empleado para caracterizar diversos parámetros físico-químicos de los medios donde se propagan, sin provocar cambios en los mismos (Mulet et al., 1999; Scanlon, 2004).

Las ondas de señal o baja intensidad (alta frecuencia) que van de los 100KHz-1MHz son usados para monitorear la composición y propiedades fisicoquímicas

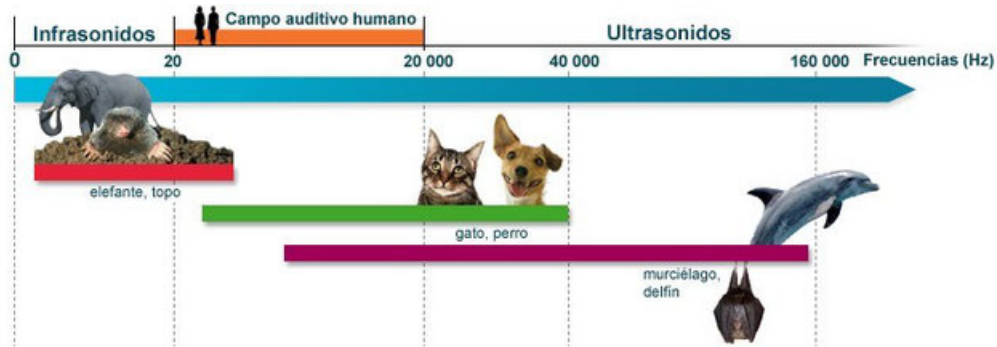


Figura 1.4. Escala de ultrasonido

de los componentes de un alimento, así también para monitorear a los productos durante el proceso y almacenaje, siendo crucial cada uno para el control de las propiedades y mejoras de la calidad (Awad et al., 2012).

#### 1.3.2.1. Ultrasonidos de señal

Los ultrasonidos de señal (US) se caracterizan por ser una técnica de análisis que permite obtener información del medio donde se propagan, fundamentalmente a partir de cuatro parámetros: la velocidad, la atenuación, la impedancia acústica y el espectro de frecuencias (Awad et al., 2012; McClements, 1995; Niñosles, 2007). Estos parámetros están relacionados con las propiedades físico-químicas del medio, y por tanto, puede proporcionar información de la composición, la estructura y el estado físico del mismo, actualmente es uno de los métodos más populares práctico y extensamente usado ya que es un método analítico no destructivo (Awad et al., 2012).

El uso de los ultrasonidos de señal es relativamente reciente en la industria alimentaria. Sin embargo, cada vez son más numerosas en este sector sus aplicaciones, tanto para evaluar las propiedades de un producto, como para supervisar las variables de un proceso, éstas se centran en la determinación de la composición, estructura y estado físico del alimento o en la detección de defectos internos en el mismo, dando lugar a diversas aplicaciones basadas en la monitorización online de las propiedades de los alimentos en diferentes etapas del procesado. A continuación, se describen las aplicaciones más recientes de los US para diferentes grupos de alimentos:

Se ha utilizado para estudiar la composición de los peces y aves de corral. Para estimar la humedad y el contenido de proteínas de los filetes de bacalao (Ghaedian et al., 1998).

A continuación en la Tabla 1.2 se describe el uso de los ultrasonidos de señal para diferentes tipos de alimentos (cárnicos, vegetales, cereales, y otros):

Tabla 1.2. Aplicación de los ultrasonidos de señal

Ganado (ovejas, vacas)	La acumulación de grasa y músculo y la composición corporal. El porcentaje de grasa intramuscular y el grado de desarrollo muscular	Mejorar el mejoramiento genético de el ganado: control de calidad en carne
Pollo	Composición del pollo: contenido de sólidos grasos	Método no destructivo y rápida detección
Queso	Composición, defectos, objetos internos y reología	En línea de control de calidad
Frutas y vegetales	Firmeza, harina, peso seco, contenido de aceite, soluble Sólidos y acidez	Evaluación indirecta tiempo de aprovechamiento adecuado, almacenamiento y vida útil
Cereales	Extensión de la mezcla y propiedades reológicas. Propiedades reológicas. Cinética de la fermentación de la masa del pan	Control de calidad de la masa en línea
Aceites y productos a base de agua	Densidad, impedancia y celeridad, absorción y compresibilidad de los modulos. Composición, calidad, desidad, sólidos grasos y polimorfismo.	Autenticación de los alimentos con contenidos grasos, Control de calidad en tiempo real.

Awad et al. (2012)

### 1.3.2.2. Ultrasonidos de potencia

Son señales de alta intensidad que se utilizan para modificar un proceso o un producto (Mulet et al., 1999). Con una frecuencia más baja y mayor potencia producen

cabios físicos y químicos en el medio a través de la generación y subsiguiente colapso de burbujas de cavitación, las cuales aparecen, crecen y colapsan dentro del líquido. Esto ocurre asimétricamente cerca de las interfases y golpes sobre la superficie sólida (Awad et al., 2012). Este efecto mecánico tiene muchas aplicaciones como lo son: la extracción de sabores, desgasificación, emulsificación, mejoramiento de la cristalización, polimorfismo modificador, etc (Higaki et al., 2001).

Son empleados para mejorar etapas del procesado, fundamentalmente mejoran procesos de transferencia de materia. Así, se han utilizado para mejorar procesos de extracción de compuestos naturales (Ahmad-Qasem et al., 2013) o para facilitar los fenómenos de transporte en el secado de productos cárnicos (Ozuna et al., 2014).

#### 1.3.2.2.1 Cavitación

Cuando el ultrasonido es manejado a una frecuencia de por arriba de los 20 KHz, y pasa a través de un medio líquido, la interacción entre las ondas del ultrasonido, el líquido y el gas disuelto conduce a un fenómeno de excitación conocido como cavitación acústica, caracterizado por la generación y evolución de microburbujas en el medio líquido (Uloa, 2013) (Figura 1.5). Estas implosiones o colapsos de la burbuja se da en las regiones del ultrasonido que están sometidas a altas presiones generando el crecimiento de las burbujas de gas, hasta que colapsan y regresan a su tamaño normal otra vez. Al colapsar las burbujas, liberan energía contenida dentro de ellas, generando a su vez presiones y temperaturas tan altas que afectan la estructura de los materiales situados en el microentorno.

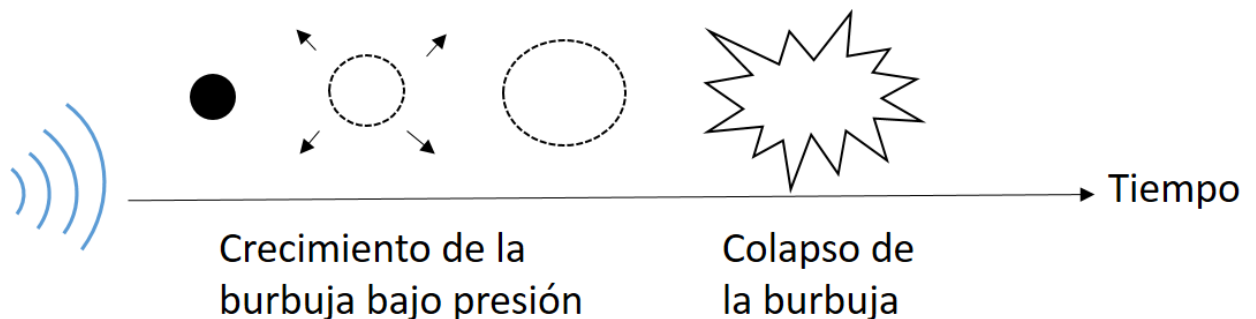


Figura 1.5. Fenómeno de cavitación

Las diferentes maneras en que la cavitación se puede utilizar de manera beneficiosa en la aplicación de procesamiento de alimentos son la reducción del tiempo

de reacción, el aumento en el rendimiento de la reacción, y el uso de condiciones menos fuertes (Temperatura y presión) en comparación con las vías convencionales (Uloa, 2013).

#### 1.3.2.2.2 Equipos de US y sus aplicaciones

Actualmente existen tres tipos diferentes de transductores para los equipos ultrasónicos los cuales son:

- a) Transductores de manejo de líquidos
- b) Transductores magnéticos
- c) Transductores piezoeléctricos

##### ° SONDA

La utilización de sondas ultrasónicas permite introducir la energía acústica directamente en el interior de la mezcla de reacción. El método más sencillo consiste en introducir la punta con vibración ultrasónica de la sonda en la mezcla de reacción. Las sondas ultrasónicas usan frecuencias alrededor de los 20 kHz.

Las sondas ultrasónicas son más caras que los baños y además su uso requiere material de vidrio especial para el cierre o conexiones del matraz si las reacciones a irradiar necesitan reflujo, atmósfera inerte, presión o vacío. Además, como consecuencia de la cavitación se va produciendo una erosión de la punta de la sonda, que puede comportar dos tipos de problemas: contaminación de la mezcla de reacción por partículas metálicas de la sonda y pérdida de eficiencia por el acortamiento físico de la sonda.

##### ° BAÑO

Este tipo de ultrasonido requiere dos componentes esenciales, un medio líquido y una fuente de vibraciones de alta energía. El medio líquido es necesario porque la sonoquímica es conducida por la cavitación acústica que sólo puede ocurrir en líquidos. La fuente de la energía vibratoria es el transductor, de los cuales hay tres tipos principales: el silbido líquido y dos electromecánicos. Dispositivos basados en los efectos magnetostrictivos y piezoeléctricos (Mason & Luche 1996)

# II.OBJETIVOS

## 2.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del tiempo de tratamiento con Ultrasonidos de Alta Potencia sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne fresca de cerdo (*Longissimus dorsi*).

## 2.2. Objetivos específicos

Caracterizar los parámetros composicionales de la carne cruda de cerdo tratada y no tratada con Ultrasonidos.

Evaluar los cambios en la ternura de la carne cruda de cerdo tratada y no tratada con ultrasonidos mediante análisis fisicoquímicos.

Evaluar los cambios en el color de la carne tratada y no con ultrasonidos.

# III.METODOLOGÍA

## 3.1. Plan de trabajo



Figura 3.1. Plan de trabajo

## 3.2. Materia prima

Se dispuso de 250 gr de carne fresca de cerdo (*Longissimus dorsi*). La pieza era cortada en rodajas verticalmente, para después cortar estas en pequeños cubos de 2x2x2 como se muestra en la Figura 3.2



Figura 3.2. Proceso de corte de pieza de lomo

### 3.3. Métodos

#### 3.3.1. Tratamiento con ultrasonido en carne

En el presente estudio se realizó la ultrasonicación de la carne fresca de cerdo (*Longissimus dorsi*), se dispuso de la cantidad de 250 gr. de carne fresca de cerdo o (*Longissimus dorsi*). Después del pesaje, la carne de cerdo fue cortada en cubos pequeños (2cm x 2cm x 2cm). El tratamiento de ultrasonido para la carne fresca de cerdo (*Longissimus dorsi*) se realizó en un procesador de ultrasonidos (Hielscher Ultrasound Technology, modelo UP200S/UP400S) a una amplitud máxima (100 %), una frecuencia de 37 kHz y las muestras se sumergieron en el líquido ultrasónico (Agua). El tratamiento de ultrasonido se realizó a diferentes tiempos (15, 30, 60, 90, 120 minutos) cada tiempo se hizo por triplicado. Para reducir los efectos térmicos durante el tratamiento con ultrasonidos, se dispuso de un recirculador el cual enfriaba el agua que salía caliente del ultrasonido, e ingesando agua fría, la cual era ajustada a 20 °C. Cada tiempo de ultrasonicación se realizó por triplicado. Después del tratamiento de ultrasonidos, las muestras de carne fueron secadas con el fin de eliminar el exceso de agua en la superficie y se volvieron a pesar. Posteriormente se evaluó el efecto del tiempo en la carne fresca de cerdo (*Longissimus dorsi*) con respecto a la amplitud establecida y como éste mejora o no, las propiedades fisicoquímicas y analíticas de la carne fresca de cerdo (*Longissimus dorsi*). Para comparar, se estableció un método de agitación (Figura 3.3) con los mismos tiempos como la técnica de control, para constatar si se establecía un cambio o no con el método de ultrasonido para constatar si se establecía un cambio o no con el método de ultrasonido.

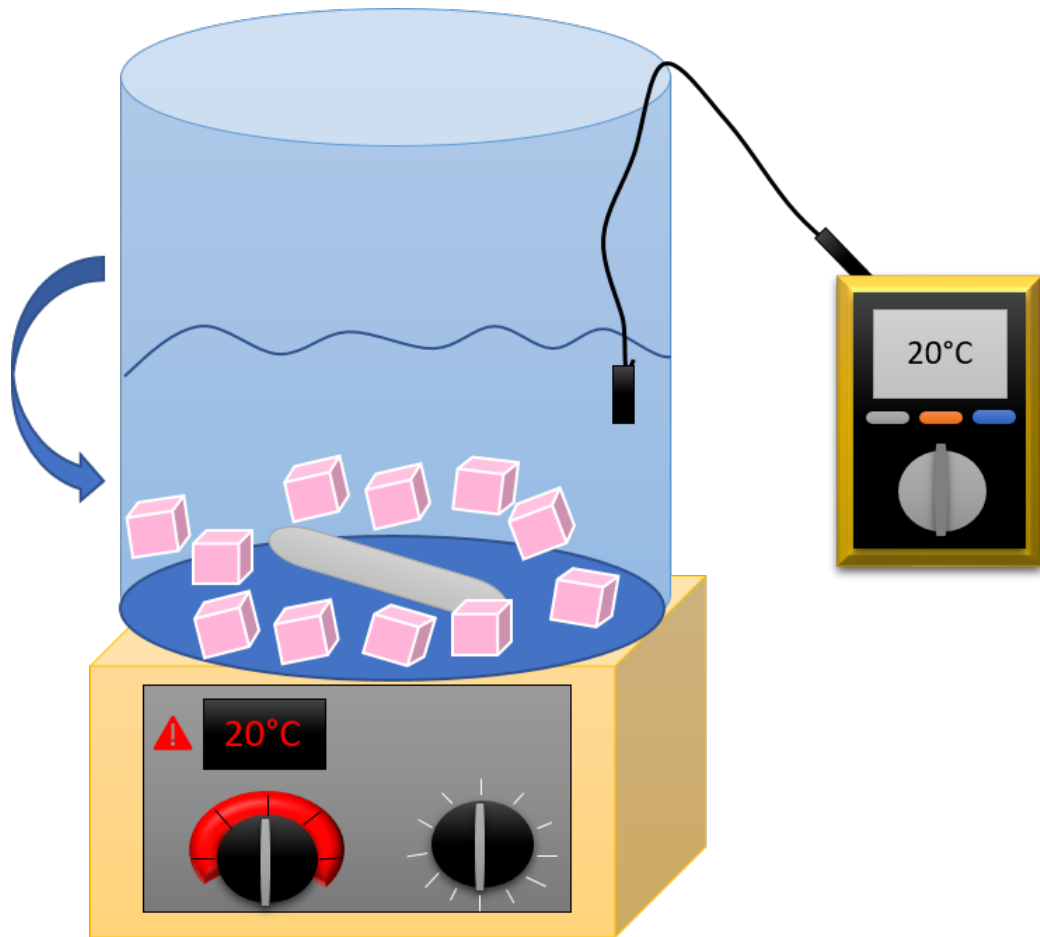


Figura 3.3. Tratamiento control

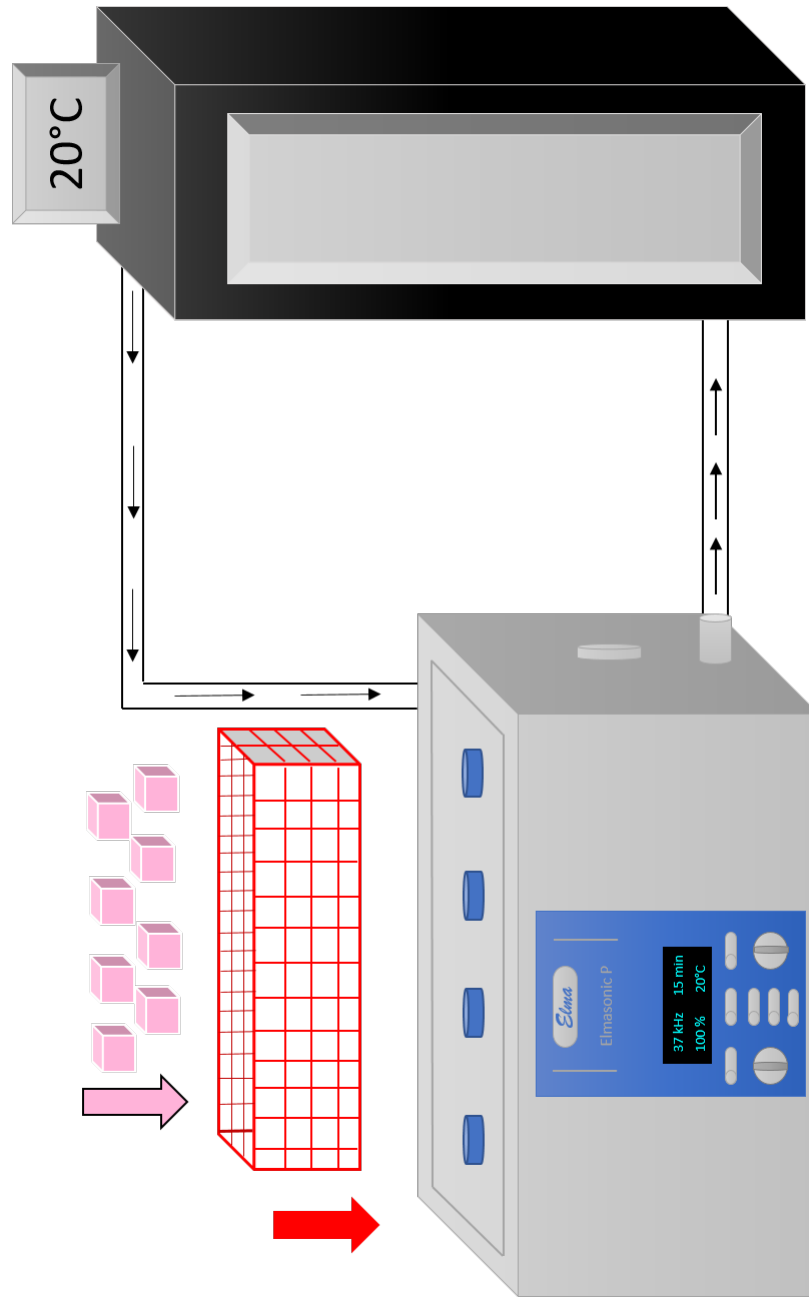


Figura 3.4. Tratamiento con ultrasonidos

### 3.3.2. Rendimiento exudativo

Las muestras de carne de cerdo fueron pesadas antes ( $W_b$ ) y después ( $W_a$ ) de los ultrasonidos. Transcurrido el tiempo de ultrasonificación determinado (15, 30, 60, 90, 120) se extrajeron los cubos de carne y se dejaron secar sobre papel filtro durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo se pesaron nuevamente y se calculó el rendimiento exudativo con la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento exudado (\%)} = \frac{(W_b - W_a)}{W_b} \times 100 \%$$

$W_b$ = peso de carne antes del ultrasonido

$W_a$ = peso carne después de ultrasonido

### 3.3.3. Pérdidas por cocción

La pérdida por cocción se determinó como se ha descrito por YU et al. (2008). Cocinando los cubos de carne fresca previamente ultrasonificados y secados sobre el papel filtro. Se colocaron las tres réplicas de cubos para 15, 30, 60, 90, 120 °C que se extrajeron del US, así mismo se colocaron las tres réplicas para las muestras tratadas únicamente con agitación. Los cubos se cocinaron en un baño de agua calentada previamente a 80°C la cual se determinó con un multímetro. Las muestras de carne se mantuvieron en cocción durante 20 minutos, posterior a esto se sacaron y colocaron sobre papel filtro dejándose enfriar a temperatura ambiente durante 15 minutos sobre papel filtro. Las muestras se pesaron antes ( $W_b$ ) y después ( $W_a$ ) de cocinar. La pérdida de cocción de las muestras de carne control y de la carne tratada con ultrasonidos se calculó utilizando la siguiente ecuación:

La pérdida de cocción de las muestras de carne control y de la carne tratada con ultrasonidos se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de perdida en el cocimiento \%} = \frac{(W_b - W_a)}{W_b} \times 100 \%$$

$W_b$ = peso de carne antes del ultrasonido

$W_a$ = peso carne después de ultrasonido

### **3.3.4. pH**

Para este análisis se molieron 10 gr de carne de cada tiempo (15, 30, 60, 90, 120 °C) del tratamiento con US y del tratamiento con agitación. Posterior a la molienda, se licuó nuevamente la carne con 100 mililitros de agua destilada durante 3 minutos a la velocidad más baja que es 1. Transcurridos los 3 minutos se sacó la muestra, se filtró y se procedió a medir el pH de la muestra ya homogenizada. Esto se llevó a cabo por cada replica de cada tiempo.

### **3.3.5. Capacidad de retención de agua**

Posterior a la ultrasonicación y agitación de las muestras, se extrajeron y dejaron secar durante 10 minutos sobre papel filtro, posteriormente se licuaron 10 gramos de carne fresca de cada tiempo de tratamiento (30 gramos corresponden al triplicado de cada tiempo) para colocarla después en tubos falcon. A cada tubo con los 10 gramos se le agregaron 10 mililitros de agua fría destilada. Después se calentó agua a 80°C y se procedió a dar un baño de agua a los tubos, colocándolos dentro del agua caliente durante 10 minutos. Pasados los 10 minutos se centrifugó por 40 minutos a 4000 rpm a 4°C. Al final del centrifugado se pesaron los tubos nuevamente para saber el peso final de la carne centrifugada.

### **3.3.6. Colorimetría**

Se escogieron 3 muestras de carne fresca por cada tiempo y tipo de tratamiento y se colocaron en el colorímetro para efectuar el análisis de colorimetría correspondiente. Como en los análisis anteriores cada método de cada tiempo se realizó por triplicado.

### **3.3.7. Humedad**

Se pesaron 3 gramos de carne previamente molida por cada tiempo y tipo de tratamiento. Las muestras de carne fueron puestas en charolitas de aluminio con dos mililitros de alcohol. Se homogenizó la muestra, se pesó y se dejó en mufla durante 24 horas. Pasadas las 24 horas se sacaron de la mufla, se colocaron en el desecador durante 20 minutos y se pesaron nuevamente.

# IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Rendimiento exudativo

El rendimiento exudativo de las muestras de carne tratadas con ultrasonido y control se muestra en la Fig. 4.1. Se observa que existe una influencia significativa ( $p<0.05$ ) del tiempo en ambos tratamientos. Así, el tratamiento control obtuvo un incremento en el rendimiento exudativo del 2.5 al 11.39 % para un tiempo de 15 y de 120 minutos, respectivamente, aunque no existe incremento significativo de 15 a 30 minutos. Así mismo, en el tratamiento con ultrasonidos el incremento va del 0.58 al 6.85 % para 15 y 120 minutos, respectivamente. Comparando los tratamientos, las muestras control presentan desde el inicio rendimientos exudativos más altos ( $p<0.05$ ) que los ultrasonificados, es decir, para el tiempo más bajo de tratamiento, las muestras control obtuvieron valores de  $2.50\pm 0.53$  %, mientras que con el ultrasonido el valor obtenido fue de  $0.85\pm 0.26$  %. En el caso de los valores obtenidos al tiempo más alto, para las muestras control fue de  $11.80\pm 0.54$  % y de  $6.84\pm 0.87$  para ultrasonidos. En este sentido, los resultados mostraron que con el tratamiento de ultrasonido podemos obtener rendimientos exudativos más bajos, esto se puede deber a que el fenómeno de cavitación estresa las estructuras proteicas, no permitiendo la pérdida o salida de agua, mejorando su retención en la red cárnica, lo que favorece diversas cualidades en nuestros cárnicos como lo es la terneza, la jugosidad, etc. Esto se ve ligado también al contenido del colágeno soluble que se encuentra en la carne ya que el ultrasonido genera altas presiones a su estructura, la cual retiene el contenido de agua impidiendo que ésta salga generando un rendimiento exudativo más bajo. Lo anterior se fundamenta en resultados previamente obtenidos por Chang et al. (2015), en donde mencionan que el tratamiento de ultrasonidos de baja frecuencia probablemente no provocaron un rompimiento de los enlaces de la estructura del colágeno insoluble.

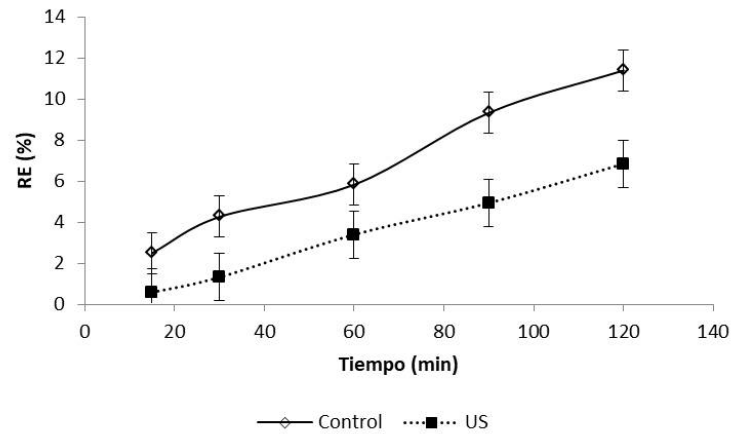


Figura 4.1. Rendimiento exudativo RE(%)

## 4.2. Pérdidas por cocción

En la figura 4.2 podemos observar las cinéticas del porcentaje de pérdidas por cocción en función del tiempo, en donde se muestra que para ambos tratamientos solo hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tiempo de 15 y 120 minutos, teniendo un porcentaje de pérdidas por cocción de 37.21 y 49.07% respectivamente para el tratamiento control y 36.47 y 45.92% para el tratamiento con ultrasonidos. No se encuentra crecimiento significativo en el rango de 30 a 60 minutos en ambos tratamientos.

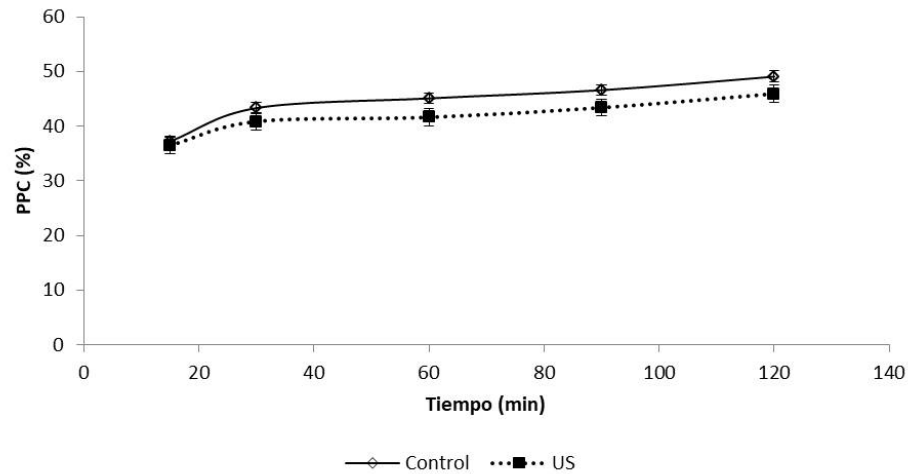


Figura 4.2. Pérdidas por cocción PPC( %)

Por otra parte, la misma Figura 4.2 muestra que no hay diferencias significativas entre tratamientos, así, los resultados del tratamiento con ultrasonidos fueron consistentes con lo reportado por (Jayasooriya et al., 2007) (Pohlman et al., 1997a), quienes mencionaron que este tratamiento no tiene efecto significativo en la pérdida por cocción. Este resultado lo atribuyeron a que el tratamiento con ultrasonido se realizó en un baño de agua, que limita la pérdida de agua y la des-naturalización térmica de las moléculas de proteína (Reynolds et al., 1978). Finalmente, a pesar de que no existieron diferencias entre tratamientos, las muestras de carne ultrasonificadas obtuvieron valores más bajos, por lo que posiblemente, estas muestras de carne ultrasonificadas tengan una mayor ternura o suavidad, lo anterior debido a que si la cocción es prolongada, esto puede aumentar la suavidad o ternura si la carne presenta un alto contenido de colágeno, pues provoca la gelatinización del mismo. El enternecimiento de la carne con el tratamiento de ultrasonidos es debido a que de alguna manera altera los tejidos conectivos, y la fusión de las fibras de colágeno (convertir en gelatina) tienen efecto en la tenacidad. Asumiendo así, que cualquier alteración miofibrilar (y posible ablandamiento) pudiera estar enmascarada por los altos contenidos de colágeno y elastina (Chang et al., 2015).

### 4.3. pH

El pH del tejido muscular del animal vivo es prácticamente neutro (7-7.2). La muerte produce concentración de ácido láctico a partir del glucógeno muscular en función de la glucólisis anaerobia que tiene lugar al detenerse el aporte de oxígeno, mientras haya glucógeno se produce ácido láctico descendiendo el pH hasta que se interrumpen los fenómenos glucolíticos. Este pH, que se mantiene constante hasta la aparición de los fenómenos de putrefacción, fue denominado pH final por Callow (1937), y según Smith (1948), es de 5,4-5,5 en los mamíferos correspondiendo al punto isoeléctrico de las proteínas musculares. Caídas del pH rápidas producen carnes con menos capacidad de retención de agua y más duras: un pH inferior a 6 en los primeros 45 minutos post mortem conduce a carnes pálidas y exudativas. Un pH bajo, próximo al punto isoeléctrico de las proteínas (escasas cargas que fijan al dipolo agua), nos dará carnes más claras, blandas y con menor poder de retención de agua (PSE: pale, soft, exudative).

En la Figura 4.3 podemos apreciar que tenemos un incremento del pH con el tiempo en ambos métodos. Con relación a cada método observamos que los valores de ultrasonido se mantiene más altos que los valores reportados por las muestras control esto debido a que el ultrasonido ejerce una función de degradación más rápida. En contraste con lo publicado por Jayasooriya et al. (2007) quien reporto que el pH del músculo incrementa cuando incrementa el tiempo de tratamiento con ultrasonidos.

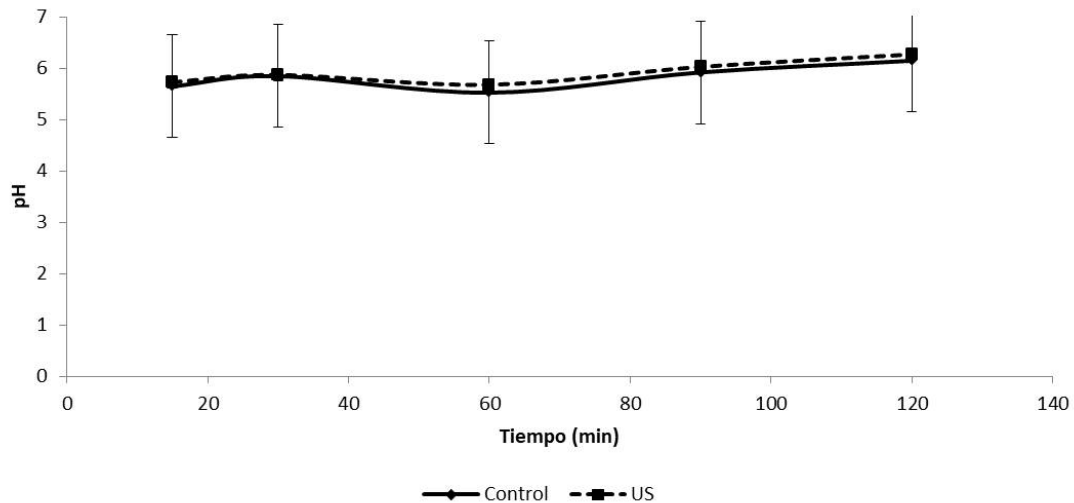


Figura 4.3. pH

#### 4.4. Capacidad de retención de agua

Las cinéticas del comportamiento de la CRA en función del tiempo se muestran en la Figura 4.4. Para las muestras control, del minuto 15 al minuto 60 se observó una caída del porcentaje de CRA, seguida de un aumento hasta los 120 minutos, mientras que para las muestras sometidas al tratamiento con ultrasonidos, los valores más bajos de la CRA se obtuvieron para el tiempo de 60 y 120 minutos, no siguiendo un comportamiento lineal.

La capacidad de retención de agua (WHC) es un término utilizado originalmente para describir la capacidad del músculo para unir y retener el agua bajo un conjunto de condiciones y, por lo tanto, siempre vinculado a las propiedades sensoriales de carne como jugosidad, textura y sabor (Siro et al., 2009). Las fuerzas que inmovilizan el agua libre dentro del músculo o los productos musculares son generadas por la tensión superficial (Abdullah and Musallam, 2007; Hamm, 1986). En base a esto podemos inferir que nuestras muestras tratadas con ultrasonidos (98.53-98.23%) a pesar de no mostrar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en comparación con las muestras control (98.23-97.97%), tuvieron un porcentaje mayor de capacidad para retener el agua denotando en mejores propiedades, como fue el caso del rendimiento exudativo, anteriormente discutido. El ultrasonido de alta intensidad se infiere que

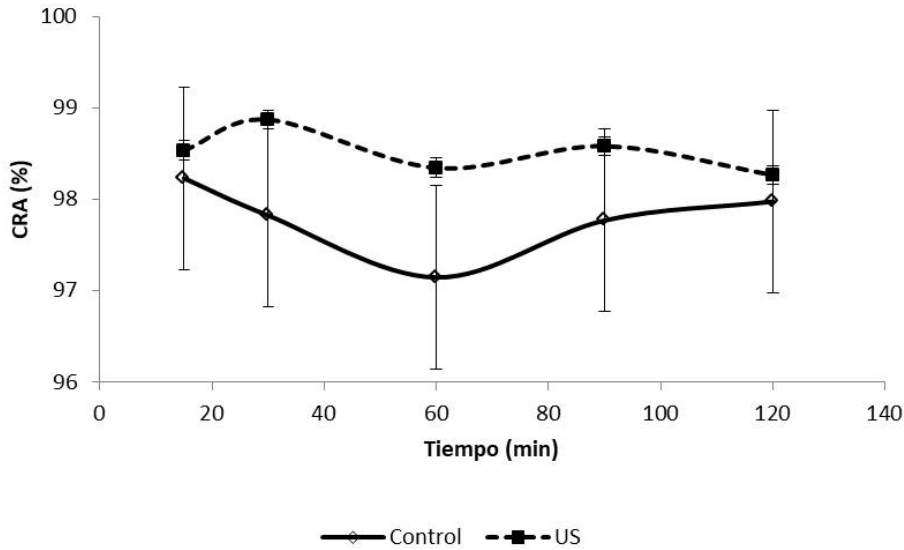


Figura 4.4. Capacidad de retención de agua CRA(%)

tiene la posibilidad de alterar el comportamiento de gelificación de las proteínas, ya que la cavitación dentro del tejido muscular puede conducir a cambios químicos por la formación de radicales libres que pueden alterar la estructura proteica y las fuerzas intermoleculares (Jayasooriya et al., 2004). Asimismo, el colágeno, uno de los componentes del tejido conectivo intramuscular, está íntimamente relacionado a la tenderización de la carne y otras propiedades en cuestión de la calidad (Torrescano et al., 2003). Chang et al. (2012) mencionaron que las fibras de colágeno (haces gruesos) en muestras de carne cruda mostraron una estructura compleja donde las fibras de diversas estriaciones se cruzaron. Después de que los músculos semitendinosos fueron fibras sonicadas, colagenosas desordenadas y escalonadas, los arreglos de fibra se soltaron con un aumento en el tiempo de exposición al ultrasonido, encontrando una granulación y desnaturalización de las fibras de colágeno. Esto fue probablemente debido al efecto de desnaturalización y contracción de fibras de colágeno durante la aplicación del ultrasonido. Además, después del tratamiento de ultrasonido, el músculo, las células rotas, el sarcómero encogido, el espacio extracelular y las cavidades y canales intracelulares aumentaron, y aparecieron granulados de agregados de proteínas en el espacio extracelular.

## 4.5. Humedad

La carne contiene aproximadamente entre un 70 y 75 % de agua, de la cual el 70 % es agua libre que se encuentra entre los espacios de los filamentos de actina y miosina. Cuando se hace la determinación de humedad principalmente lo que se mide es el agua libre. El análisis del contenido de humedad o de materia seca, es en el análisis bromatológico probablemente el más frecuentemente realizado, debido a que permite conocer el grado de dilución de los nutrientes o componentes de la muestra (Mauer and Bradley Jr, 2017). A diferencia de las determinaciones de capacidad de retención de agua y pérdida por goteo, el análisis de humedad permite conocer el contenido total de agua en la muestra. La determinación de la humedad, se basa en la pérdida del agua por efecto del calentamiento en estufa con condiciones de aire forzado.

En estos datos (Figura 4.5) observamos un incremento en el contenido de humedad al paso del tiempo en los dos tratamientos, por lo que se muestran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el tiempo más corto (15 minutos) y el más largo (120 minutos) para ambos tratamientos. Lo anterior se debe posiblemente a que la muestra captó mayor cantidad de agua por su exposición en el medio. En base a cada tratamiento las muestras tratadas con ultrasonido reflejan un menor contenido de agua en comparación con las muestras control, no obstante, ambos tipos de muestra se encuentran dentro de los valores aceptables para una carne en óptimas condiciones.

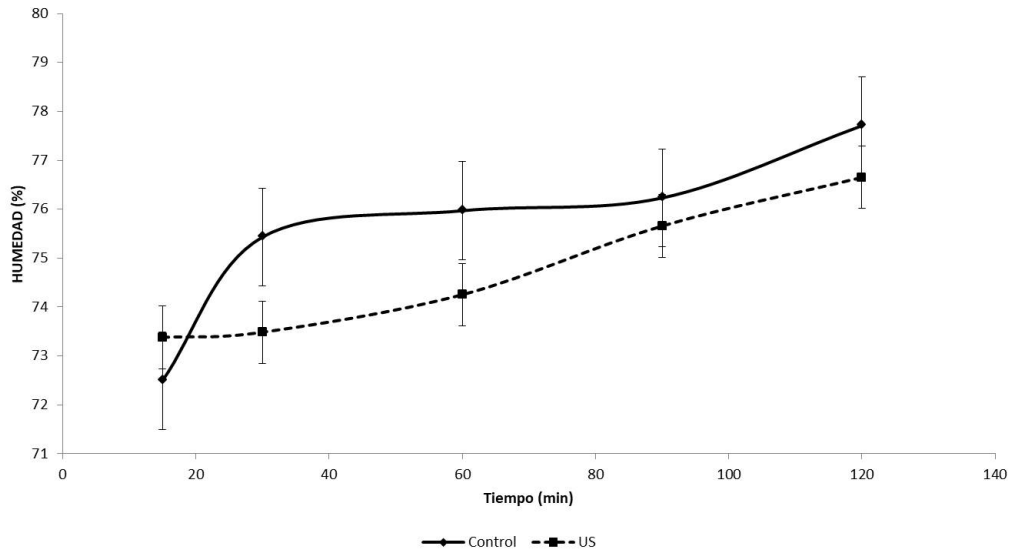


Figura 4.5. Porcentaje de humedad (H %)

## 4.6. Color

El espacio de color Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  se basa en un esquema de vectores que se representan de forma tridimensional, y que están basados en la teoría de los colores opuestos. La integran los parámetros  $L$ ,  $a$  y  $b$ .

- ( $L$ ) se refiere a la luminosidad y se ubica verticalmente, tomando valores de 100 (blanco) y 0 (negro).

Para el caso de ( $L$ ) en las muestras tratadas y no tratadas con ultrasonidos, solo se observó un efecto del tiempo de tratamiento ( $p < 0.05$ ) en el tiempo de 90 minutos para la muestra control, mientras que la muestra con ultrasonidos, el tiempo de 15 minutos con 30, 60 y 90 minutos mostró diferencias. Por otro lado, comparando entre técnicas, se pudo ver que solo existen diferencias significativas entre los 15 minutos y los tiempos más largos (90 y 120 minutos). En este análisis de luminosidad ( $L$ ) de la muestra, observamos menos luminosidad en las muestras ultrasonicadas conservando mejor el color inicial, que en comparación con las muestras control las cuales al ser retiradas del tratamiento se notó un tono más pálido que el que inicialmente tenían. Según Pohlman et al. (1997b), el ultrasonido de alta potencia puede provocar un aumento de la temperatura del músculo, encontrando que el músculo calentado es más luminoso y menos rojo que el músculo fresco, debido a

la desnaturalización térmica de la mioglobina y la hemoglobina, que son pigmentos del color. En este trabajo, el calor generado pudo haber sido insuficiente para la desnaturalización térmica y oxidación del pigmento de color de la mioglobina en metamioglobina, debido a que tal vez, la circulación del agua de refrigeración se mantuvo a una temperatura de 20° C constante durante el tratamiento ultrasónico.

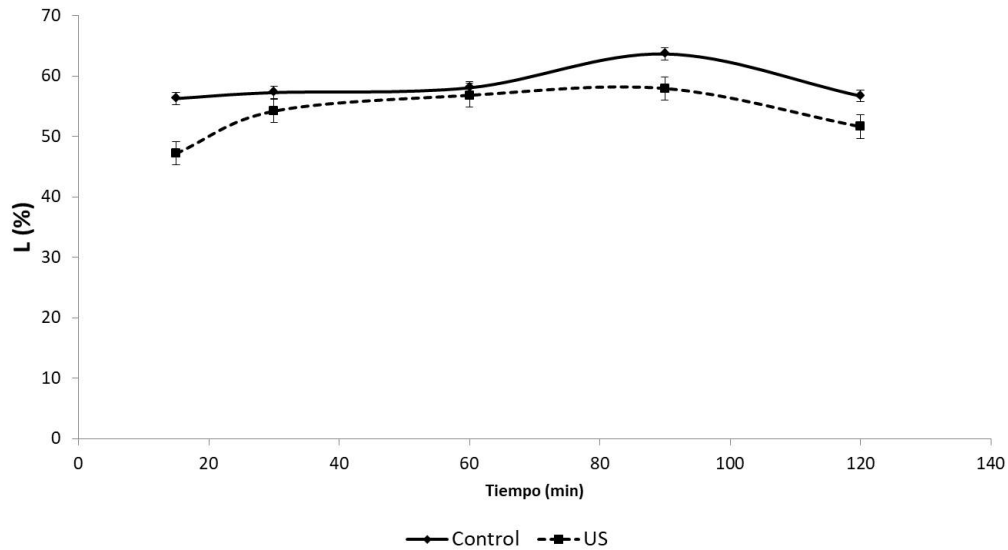


Figura 4.6. Luminosidad ( $L$ )

- $a$  y  $b$ , ubicados horizontalmente, no tienen límites, pero sí valores positivos o negativos. La escala de ( $a$ ) se mueve de los valores positivos (rojo +) a los negativos (verde -). En el gráfico se muestra una variación entre tratamientos. Las muestras tratadas con ultrasonido nos conservan mejor su color ya que tienden positivamente al color rojo, solo muestran una variación ( $p < 0.05$ ) en los tiempos de 30 con los tiempos de 60 y 90 minutos. En el caso del tratamiento control no se muestra variación alguna al paso del tiempo y en general arrojan valores negativos dándonos una carne con tendencia a colores verdosos.

- La escala de ( $b$ ) va del amarillo (+) al azul (-). En este análisis notamos en el tratamiento con ultrasonidos un incremento en los tiempos de 15 y 30 minutos, teniendo un decaimiento en el tiempo de 60, el cual tiene influencia en el tiempo de tratamiento ( $p < 0.05$ ) con relación a 15 y 30 minutos. Posterior a éste se observa un incremento, seguido de otro decaimiento para 120 minutos el cual también tiene efecto ( $p < 0.05$ ) con relación a todos los demás tiempos. En el caso del tratamiento

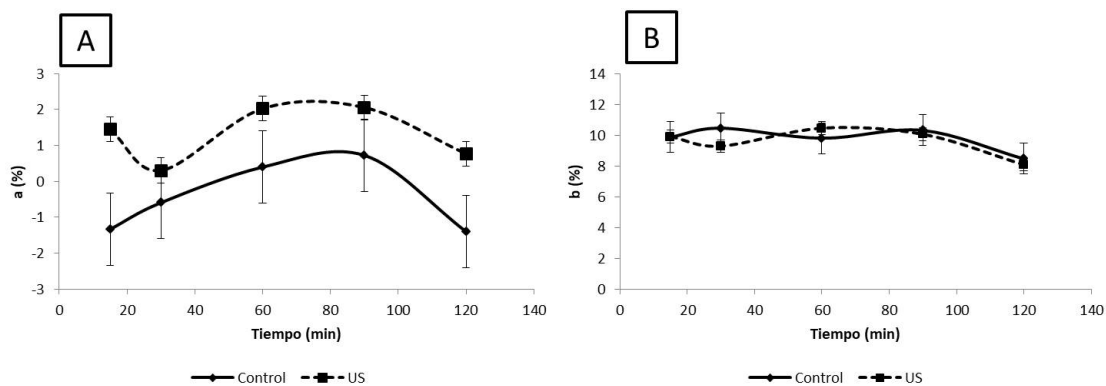


Figura 4.7. Porcentaje de variación de color: (A; a y B; b). Valor promedio  $\pm$  intervalos LSD ( $p < 0.05$ ) ( $n=3$ )

control existe incremento que denota influencia del tiempo ( $p < 0.05$ ) en el punto de 60 minutos y el punto de 120 con un decaimiento significativo ( $p < 0.05$ ).

# V.CONCLUSIONES

Se concluye que el tratamiento con ultrasonidos tuvo un efecto significativo en algunos parámetros evaluados, sin embargo no en todos se obtuvieron resultados favorables.

En relación con el rendimiento exudativo se obtuvieron resultados positivos ya que con el tratamiento de ultrasonido se obtuvieron valores más bajos, infiriendo que estas muestras tienen mayor capacidad para retener el agua y no se deshidraten o sequen tan rápido como el control que obtuvo valores mucho más altos.

En pérdidas por cocción no se tiene una variación entre tratamientos, y para cada tratamiento se obtiene muy poca diferencia entre cada tiempo.

El pH permaneció dentro de los rangos normales y estables para una carne en óptimas condiciones, a pesar de esto, no se obtuvo ningún cambio con el tratamiento de ultrasonido, ya que no hay diferencia significativa con los valores de las muestras control. Un aspecto positivo de estos resultados es que la carne se encontró en óptimas condiciones después del tratamiento con ultrasonido.

En capacidad de retención de agua no se obtuvieron valores significativos para concluir que el tratamiento efectivamente tuvo efecto sobre este parámetro, lo que si se noto es que entre tratamiento el control obtuvo valores más bajos que el ultrasonido concordando con lo reportado en rendimiento exudativo en donde al obtenerse valores más bajos de este parámetro se pronosticaba que la capacidad de retención de agua con el tratamiento con ultrasonidos fuera mayor, y en efecto se obtuvieron valores mayores.

En la caracterización de humedad no hubo relación con las evaluaciones anteriores ya que se esperaba que el tratamiento control tuviera valores de humedad más altos, pero fue lo contrario, ya que estos fueron mucho mas altos que los control. En relación del tiempo si se tiene incremento en los dos tratamientos con el tiempo como en los demás parámetros evaluados. Concluyendo que si hay variación en relación con el tiempo de ultrasonicación.

En el caso del parámetro de color, se concluye que el ultrasonido si tiene efecto sobre el color de la carne, ya que esta conserva mejor su color, tendiendo al color rojo y mas oscuro que la muestra control la cual demostró al final un color verdoso y muy pálido. Infiriendo así que el ultrasonido mantiene mejor los colores y aspecto

de la carne, ya que para cuestiones de calidad y aspecto se puede tener una carne con mejor apariencia.

Se concluye en general que las muestras ultrasonificadas tienen mayor retención de agua, un pH dentro de los parámetros normales (7-7.5), capacidad de retención de agua muy levemente mayor al control, y ayuda a la conservación de su color inicial, esto debido a que el tratamiento fue realizado a 20 °C, lo que ayuda a la no desnaturalización de la mioglobina, lo que fue afectado en el tratamiento control. El único parámetro inconsistente con los demás fue la humedad que no tiene relación con los anteriores.

# Bibliografía

- Abdullah, A. and Musallam, H. (2007). Effect of different levels of energy on carcass composition and meat quality of male black goats kids. *Livestock Science*, 170:70–80.
- Ahmad-Qasem, M. H., Cánovas, J., Barraji3n-Catal3n, E., Micol, V., C3rcel, J. A., and Garc3a-P3rez, J. V. (2013). Kinetic and compositional study of phenolic extraction from olive leaves (var. serrana) by using power ultrasound. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17:120–129.
- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 7(6):179–187.
- Awad, T., Moharram, H., Shaltout, O., Asker, D., and Youssef, M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48(2):410–427.
- Aymerich, T., Picouet, P. A., and Monfort, J. M. (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, 78(1):114–129.
- Bavera, G. (2005). Cursos de producci3n bovina de carne, facultad de agronom3a y veterinaria.
- Braeckman, L., Ronsse, F., Hidalgo, P. C., and Pieters, J. (2009). Influence of combined ir-grilling and hot air cooking conditions on moisture and fat content, texture and colour attributes of meat patties. *Journal of food engineering*, 93(4):437–443.
- Callow, E. (1937). The ultimate ph of muscular tissue. *Ann. Rep. Food Invest. Bd, Lond*, pages 49–51.
- Chang, H., Wang, Q., Xu, X., Li, C., Huang, M., Zhou, G., and Dai, Y. (2011). Effect of heat-induced changes of connective tissue and collagen on meat texture properties of beef semitendinosus muscle. *International journal of food properties*, 14(2):381–396.
- Chang, H.-J., Wang, Q., Tang, C.-H., and Zhou, G.-H. (2015). Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle. *Journal of Food Quality*, 38(4):256–267.
- Chang, H.-J., Xu, X.-L., Zhou, G.-H., Li, C.-B., and Huang, M. (2012). Effects of cha-

- racteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1):285–297.
- Ciriá, J. and Garcés, C. (1996). El cebo intensivo en ganado porcino. *Buxadé, C. Zootecnia. Bases de producción animal*, 6.
- Colmenero, F. J. (2002). Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature. *Trends in Food Science & Technology*, 13(1):22–30.
- Galián Jiménez, M. et al. (2008). *Características de la canal y calidad de la carne, composición mineral y lipídica del cerdo Chato Murciano y su cruce con Ibérico. Efecto del sistema de manejo*. Universidad de Murcia.
- Ghaedian, R., Coupland, J. N., Decker, E. A., and McClements, D. J. (1998). Ultrasonic determination of fish composition. *Journal of Food Engineering*, 35(3):323–337.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements.
- Higaki, K., S.Ueno, Koyano, T., and K.Sato (2001). Eeffects ultrasonic irradiation on crystallization behavior of tripalmitoylglycerol and cocoa butter. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 78:513–518.
- Hoover., D. (2000). Ultrasound supplement kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal Food Science*, 65 (8):93–95.
- Huang, L. (2004). Infrared surface pasteurization of turkey frankfurters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3):345–351.
- Hugas, M., Garriga, M., and Monfort, J. (2002). New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. *Meat science*, 62(3):359–371.
- Jayasooriya, S., Bhandari, B., Torley, P., and D’arcy, B. (2004). Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *International Journal of Food Properties*, 7(2):301–319.
- Jayasooriya, S. D., Torley, P., Dâarcy, B. R., and Bhandari, B. R. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine semitendinosus and longissimus muscles. *Meat Science*, 75(4):628–639.
- Knorr, D., Heinz, V., Lee, D., and Zenker., M. (2004). Applications and potential ultrasonic in food processing. *Food Science and Technology*, 15:261–266.
- Koohmaraie, M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat science*, 36(1-2):93–104.

- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat science*, 43:193–201.
- Krishnamurthy, K., Jun, S., Irudayaraj, J., and Demirci, A. (2008). Efficacy of infrared heat treatment for inactivation of staphylococcus aureus in milk. *Journal of food process engineering*, 31(6):798–816.
- Mason, T. (1990). Chemistry with ultrasound, critical reports on applied chemistry, vol. 28. *Society for Chemical Industry*.
- Mauer, L. J. and Bradley Jr, R. L. (2017). Moisture and total solids analysis. In *Food Analysis*, pages 257–286. Springer.
- McClements, D. J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science & Technology*, 6(9):293–299.
- Mulet, A., Benedito, J., Bon, J., and Sanjuan, N. (1999). Low intensity ultrasonics in food technology/revisión: Ultrasonidos de baja intensidad en tecnología de alimentos. *Revista de Agaroquímica y Tecnología de Alimentos*, 5(4):285–297.
- Ngapo, T., Berge, P., Culioli, J., Dransfield, E., De Smet, S., and Claeys, E. (2002). Perimysial collagen crosslinking and meat tenderness in belgian blue double-muscléd cattle. *Meat Science*, 61(1):91–102.
- Niñoles, L. (2007). *Contribución a la caracterización de la calidad de productos del cerdo mediante ultrasonidos de señal*. PhD thesis, Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ozuna, C., Cárcel, J. A., Walde, P. M., and Garcia-Perez, J. V. (2014). Low-temperature drying of salted cod (*gadus morhua*) assisted by high power ultrasound: Kinetics and physical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23:146–155.
- Pohlman, F., Dikeman, M., and Zayas, J. (1997a). The effect of low-intensity ultrasound treatment on shear properties, color stability and shelf-life of vacuum-packaged beef semitendinosus and biceps femoris muscles. *Meat Science*, 45(3):329–337.
- Pohlman, F., Dikeman, M., Zayas, J., and Unruh, J. (1997b). Effects of ultrasound and convection cooking to different end point temperatures on cooking characteristics, shear force and sensory properties, composition, and microscopic morphology of beef longissimus and pectoralis muscles. *Journal of animal science*, 75(2):386–401.
- Poto, A. (2003). Estudio de la calidad de la canal y de la carne del cerdo chato

- murciano. *Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia.*
- Prändl, O. (1994). Obtención de la carne. *Tecnología e higiene de la carne*, O. Prändl, A. Fischer, T. Schmidhofer, HJ Sinell (Eds), Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Purslow, P. P. (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat science*, 70(3):435–447.
- Restrepo, D., ARANGO, C., Amézquita, A., and Restrepo, R. (2001). Industria de carnes. *Medellín: Universidad Nacional de Colombia.*
- Reynolds, J., Anderson, D., Schmidt, G., Theno, D., and Siegel, D. (1978). Effects of ultrasonic treatment on binding strength in cured ham rolls. *Journal of Food Science*, 43(3):866–869.
- Robles-Ozuna, L. and Ochoa-Martínez, L. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha*, 13(2).
- Scanlon, M. (2004). Low-intensity ultrasound for food research and the food industry. *Food Research International*, 37:535–536.
- Siddiqui, M. W., Rahman, M. S., et al. (2015). *Minimally processed foods: Technologies for safety, quality, and convenience*. Springer.
- Siro, I., Ven, C., Balla, C., Jonas, G., Zeke, I., and Friedrich, L. (2009). Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*.
- Smith, E. C. B. (1948). The physiology and chemistry of rigor mortis, with special reference to the aging of beef. *Advances in food research*, 1:1–38.
- Sun, X. and Holley, R. (2010). High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products. *J Food Sci*, 75:17–23.
- Tarrant, P. (1998.). Some recent advances and future priorities in research for the meat industry. *Meat Sci.*, 49:1–16.
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins. implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70:493 – 508.
- Torrescano, G., Sanchez-escalante, A., Gimenez, B., Roncales, P., and Beltran, J. A. (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64.
- Uloa, J. A. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. Technical report, Universidad Autonoma de Nayarit.
- YU, X., LI, X., XU, X., and Zhou, G. (2008). Coating with sodium alginate and its

effects on the functional properties and structure of frozen pork. *J. Muscle Foods*, 19.