

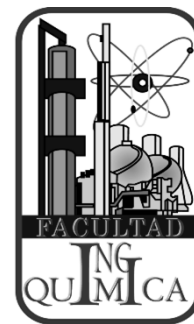


BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



**EFFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO CON ULTRASONIDO
DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE FRESCA DE CERDO
PARA LA ELABORACIÓN DE UNA EMULSIÓN CÁRNICA
EMBUTIDA REDUCIDA EN FOSFATOS**

**TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**PRESENTA
CASTILLO CRUZ TANIA GISEL**

**ASESORA DE TESIS:
DRA. EDITH CORONA JIMÉNEZ**

**COASESOR DE TESIS:
M.C. HÉCTOR RUIZ ESPINOSA**

DICIEMBRE 2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos por medio de estas líneas a las instituciones y todas aquellas personas que apoyaron el presente proyecto.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a la Facultad de Ingeniería Química y al Cuerpo Académico Consolidado “Innovación en Tecnología para el Desarrollo de Procesos Alimenticios” ya que el presente trabajo se desarrollo dentro de sus instalaciones.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP), por el apoyo económico brindado para la asistencia a un congreso nacional, así como la extensión de beca otorgada para la culminación del presente trabajo.

A mi asesora la Dra. Edith Corona Jiménez quien me acepto en su equipo de trabajo brindándome desde el principio su apoyo y conocimiento, así como por las horas dedicadas para el desarrollo del presente trabajo.

A mi co-asesor el M.C. Héctor Ruiz Espinosa por su apoyo incondicional desde el principio y su asesoría para el desarrollo del proyecto.

A los miembros del jurado, el Dr. Irving Israel Ruiz López por el apoyo y asesoría brindada durante el desarrollo del proyecto, así como a la Dra. Paola Hernández Carranza por tomarse el tiempo para revisar y realizar sus contribuciones al trabajo final.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado una beca para realizar mis estudios de maestría con número (CVU/becario- 633570).

A mis compañeros de maestría de quienes siempre tuve su apoyo, en especial Magaly, Michelle y Jaime, ya que siempre fueron de gran ayuda y apoyo en el desarrollo de este proyecto y a todo el equipo de trabajo de la Dra. Edith Corona Jiménez, a la maestra Tania Martínez Meza por la ayuda brindada.

A mi familia, mis padres Joel A. Castillo Pérez y Martha Cruz Sánchez quienes son mi más grande amor y mi motor brindándome siempre su cariño, además de estar siempre incitándome a seguir adelante y crecer profesionalmente, a mi hermana Irlanda I. Castillo Cruz quien estuvo día a día a mi lado durante éste proyecto apoyándome incondicionalmente y Joel E. Castillo Cruz, gracias por darme la fortaleza y ser un gran apoyo. Por ultimo quiero agradecer a Emmanuel Bibiano Cerón quien estuvo siempre alentándome a seguir adelante y brindándome su amor.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
I ANTECEDENTES	4
1.1 La carne	4
1.1.1 Definición	4
1.1.2 Composición química de la carne	4
1.1.2.1 Grasa	4
1.1.2.2 Agua	5
1.1.2.3 Carbohidratos	6
1.1.2.4 Vitaminas y minerales	6
1.1.2.5 Proteínas	7
1.1.2.6 Desnaturalización proteica	8
1.1.3 Tipos de carnes	8
1.1.3.1 Carne de cerdo	9
1.1.3.2 Características de la calidad de la carne de cerdo	10
1.2 Productos cárnicos	11
1.3 Emulsiones	13
1.3.1 Definición	13
1.3.2 Emulsión cárnica embutida	14

1.3.2.1	Proceso de elaboración de una salchicha	14
1.4	Aditivos	16
1.4.1	Fosfatos	16
1.5	Tecnologías emergentes	18
1.5.1	Pulsos eléctricos de alta intensidad de campo	19
1.5.2	Altas presiones (AP)	20
1.5.2.1	Uso de altas presiones en carne	21
1.6	Ultrasonido (US)	23
1.6.1	Generalidades	24
1.6.2	Clasificación del US	24
1.7	Ultrasonido de alta intensidad	25
1.7.1	Fenómeno de cavitación	26
1.7.2	Aplicación del ultrasonido de alta intensidad en carne	28
II	SÍNTESIS DE ANTECEDENTES	34
III	OBJETIVOS	36
3.1	Objetivo general	36
3.2	Objetivos específicos	36
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1	Plan de trabajo	37
4.2	Etapa I. Tratamiento de carne con ultrasonido	39
4.2.1	Materia prima	39
4.2.2	Ultrasonido	39
4.2.2.1	Análisis de calorimetría	39
4.2.2.2	Tratamiento con ultrasonido en carne	41
4.2.3	Análisis fisicoquímicos e instrumentales	42
4.2.3.1	Capacidad de retención de agua (CRA)	42
4.2.3.2	pH	43
4.2.3.3	Humedad (H)	43
4.2.3.4	Proteína	44
4.2.3.5	Perdidas por cocción (PPC)	45
4.2.3.6	Rendimiento exudativo (RE)	46
4.2.3.7	Color	46

4.2.3.8	Textura	47
4.3	Etapa II. Reducción de fosfatos en la salchicha	48
4.3.1	Elaboración de la salchicha	48
4.3.2	Análisis fisicoquímicos e instrumentales	49
4.3.3	Análisis sensorial	49
4.4	Análisis estadístico y modelación	50
4.4.1	Diseño experimental	50
4.4.2	Modelación y optimización	51
4.4.3	Análisis estadístico	52
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
5.1	Determinación de las variables del tratamiento con US en carne fresca de cerdo	54
5.1.1	Análisis de calorimetría	54
5.1.2	Obtención y caracterización de los parámetros del modelo . .	54
5.1.3	Caracterización de la carne fresca de cerdo sometida a US . .	58
5.1.3.1	Capacidad de retención de agua	58
5.1.3.2	pH	62
5.1.3.3	Humedad	67
5.1.3.4	Proteína	70
5.1.3.5	Pérdidas por cocción	74
5.1.3.6	Rendimiento exudativo	78
5.1.3.7	Textura	81
5.1.3.8	Color	87
5.1.4	Selección de las condiciones del proceso para elaborar las salchichas	92
5.2	Reducción del contenido de fosfatos en las salchichas	92
5.2.1	Caracterización de las salchichas	93
5.2.1.1	Capacidad de retención de agua	93
5.2.1.2	pH	94
5.2.1.3	Humedad	96
5.2.1.4	Proteína	97
5.2.1.5	Textura	99
5.2.1.6	Color	103

5.2.2	Análisis sensorial	106
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
6.1	Conclusiones	108
6.2	Recomendaciones	110
	REFERENCIAS	110
	ANEXOS	119

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Escala del sonido.	24
1.2	Proceso de cavitación.	26
4.1	Plan de trabajo.	38
4.2	Preparación de la muestra de lomo de cerdo (<i>Longissimus dorsi</i>).	39
4.3	Puntos de medición del US.	40
4.4	Diagrama de ultrasonido de potencia. 1. Salida de agua del US, 2. Baño de US, 3. Materia prima, 4. Recirculador, 5. Salida de agua del recirculador, 6. Entrada de agua al US, 7. Entrada de agua al recirculador.	41
4.5	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de las SUS y SC.	49
4.6	Diseño de caras centradas con cuatro puntos factoriales, cuatro puntos axiales y un punto central.	50
5.1	Superficie de respuesta de la CRA de las muestras. A) Relacion Tratamiento/tiempo (min)	61
5.2	CRA experimental y ajustada para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.	62
5.3	Comparación entre tratamientos para los valores de pH.	64
5.4	pH experimental y ajustado para las muestras control y las sometidas a US por separado utilizando un modelo de segundo orden.	65
5.5	Superficie de respuesta del pH de las muestras.	66
5.6	pH experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.	67
5.7	Comparación entre tratamientos para los valores de humedad.	69
5.8	Valores de humedad experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.	70
5.9	Superficie de respuesta del contenido de proteína en las muestras.	73

5.10	Valores de contenido de proteína experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.	74
5.11	Superficie de respuesta para las PPC de las muestras.	77
5.12	Valores de las PPC experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.	78
5.13	Superficie de respuesta para el RE de las muestras.	80
5.14	Valores del RE experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.	81
5.15	CRA de las muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.	93
5.16	pH de las muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.	95
5.17	Contenido de humedad en muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.	96
5.18	Contenido de proteína en muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.	97
5.19	Análisis TPA en muestras SUS Y SC: $\blacktriangle$ SC $\blacksquare$ SUS. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.	99
5.20	Análisis de firmeza en muestras SUS y SC. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.	102

5.21	Análisis de color en muestras de salchichas elaboradas con carne tratada y no con US: ■SC ■SUS. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras minúsculas para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Diferentes letras mayúsculas para un mismo tratamiento indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre el porcentaje de fosfatos añadidos.	104
------	--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Composición y valor nutricional de la carne de cerdo.	10
1.2	Clasificación de los productos cárnicos.	12
1.3	Clasificación de las salchichas.	16
1.4	Estudios reportados de la reducción del contenido de aditivos en productos cárnicos empleando AP.	21
1.5	Estudios reportados del tratamiento con ultrasonido en carnes. . . .	29
4.1	Condiciones del análisis calorimétrico.	40
4.2	Tratamientos de la muestra de carne fresca, con y sin aplicación de US.	42
4.3	Análisis fisicoquímicos e instrumentales.	42
4.4	Formulación utilizada en la elaboración de las salchichas.	48
4.5	Diseño de experimento: Etapa I.	51
5.1	Variables respuesta.	54
5.2	Coeficientes de determinación de los modelos de regresión propuestos.	55
5.3	Coeficientes de regresión del modelo de segundo orden.	56
5.4	Valores de la CRA en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.	58
5.5	Valores de pH en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.	63
5.6	Valores de humedad en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.	68
5.7	Valores del contenido proteico en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento. . .	71
5.8	Valores obtenidos de las PPC en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento. . .	75

5.9	Valores obtenidos del RE en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.	79
5.10	Valores obtenidos en los parámetros de textura de las muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento: Dureza, Adhesividad y Gomosidad.	82
5.11	Valores obtenidos en los parámetros de textura de las muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento: Elasticidad, Masticabilidad y Cohesión.	86
5.12	Efecto del ultrasonido sobre L*, a* y b* en las muestras control y las tratadas con US durante tres tiempos de tratamiento a tres temperaturas distintas.	88
5.13	Efecto del ultrasonido sobre el tono, color y el matiz en las muestras control y las tratadas con US durante tres diferentes tiempos tratamiento a tres temperaturas distintas.	90

RESUMEN

Los fosfatos son comúnmente utilizados en la elaboración de productos cárnicos, ya que cumplen funciones muy importantes, una de las cuales es ayudar a aumentar la capacidad de retención de agua (CRA), mejorar las propiedades texturales, ayudar a incrementar el pH, mejorar el color, entre otras. A pesar de estos beneficios que trae el añadir estos aditivos a los productos cárnicos, varios países han desarrollado programas nacionales para reducir de manera significativa el contenido de estos aditivos, ya que han sido asociados con una variedad de enfermedades derivadas de su consumo, además de que hoy en día se busca consumir productos más naturales y menos procesados, por lo que se ha indagado en el uso de nuevas tecnologías que ayuden a minimizar la adición de fosfatos a los productos cárnicos elaborados como las salchichas, sin que se vean afectadas las propiedades características de éstas. Sin embargo, la búsqueda de otras técnicas emergentes más accesibles y económicas, que permitan la reducción del contenido de fosfatos sigue siendo un foco de atención para la industria de los alimentos.

Tecnologías emergentes como lo son las altas presiones (AP) han mostrado ser una alternativa para minimizar el uso de los fosfatos en las formulaciones de las salchichas, debido a que la presión influye en gran medida sobre las propiedades de la carne afectando mecánicamente su estructura y en consecuencia una reducción del contenido de estos aditivos.

Es por esto que el objetivo del presente trabajo fue utilizar otra técnica emergente como lo es el ultrasonido (US) de alta intensidad, para aplicarlo en carne de cerdo y modificar sus propiedades con el fin de elaborar un producto cárnico con el menor contenido de fosfatos en su formulación, buscando las condiciones óptimas del proceso.

Para lograr esto, se estableció un plan de trabajo que constó de dos etapas, en la primera etapa se buscaron las condiciones de tiempo y temperatura del tratamiento con ultrasonido las cuales ayudaran a modificar las características de la carne de cerdo, por lo que se realizó un diseño de experimentos de caras centradas en donde se evaluaron las respuestas obtenidas en la parte experimental. Los resultados mostraron valores elevados de la CRA, asimismo se vio mejorado el pH de la carne, disminuyó significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento exudativo (RE), mientras que las pérdidas por cocción fueron ligeramente más altas en comparación

con la muestra control, sin embargo, el contenido de humedad de las muestras no se vio modificado, de la misma manera que los parámetros de color de la carne. En cuanto al análisis de textura se notó una disminución en la dureza de la carne. Posteriormente con los resultados de las caracterizaciones se eligió el tratamiento más adecuado para la carne (30 minutos, 30°C).

En la segunda etapa se eligieron tres niveles de adición de fosfatos a las salchichas (0, 2.5 y 5 %). Los resultados de las salchichas elaboradas con carne sometida a un tratamiento con US no mostraron cambios en la CRA, sin embargo, el pH de las muestras fue significativamente más alto ($p < 0.05$) que en los controles, la dureza disminuyó significativamente ($p < 0.05$) y la firmeza de las salchichas fue mejorada ($p < 0.05$) con respecto a los controles. No hubo cambios en los parámetros de color de las muestras, ni en el contenido de humedad de estas.

Se pudo concluir que un tratamiento con US en la carne, bajo ciertas condiciones (30 minutos, 30°C), permitió una reducción del contenido de fosfatos (2.5 %) modificando positivamente las características del producto cárnico emulsionado.

ABSTRACT

The phosphates are commonly used in the elaboration of meat products, all of them achieve important functions such as increasing water holding capacity (WHC), improving texture and sensory properties, increasing the pH, improving color, among others. Despite these benefits add additives to meat products, several countries have developed national programs to reduce significantly the content of these additives because they have been associated with a variety of illness is caused by consumption, also these days seeking to consume more natural products and less processed products, so it has explored the use of new technologies that help to minimize the addition of phosphates to meat products such as sausages, without being affected the characteristics properties of these. However, the search of other emerging techniques more accessible and affordable allow to reduce the phosphate still remain for an industrial food issues. Emerging technologies such as high pressure (HP) have proven to be an alternative to minimize the use of phosphates in the formulations of sausages, due to the pressure influences a high measure on the meat properties mechanically affecting its structure and consequently a reduction in the content of these additives. Therefore, the aim of the present work was used another emerging technique likely US high intensity in order to apply in meat pork and modify its properties with the purpose to elaborate a meat product with the less content of phosphates in its formulation, searching the optimal conditions during the process. To accomplish this, a work plan was established that consisted of two stages, the first stage it was searched the conditions of time and temperature of treatment with ultrasound which will help to modify the characteristics of meat pork, therefore an experimental design and the responses obtained in the experimental part were evaluated. The results showed high values of WHC also was improved the meat pH, decreasing significantly ($p < 0.05$) exudate yield (EY), while cooking losses were slightly higher in compared to the control sample, however, moisture content of the samples was not modified, in the same way that the parameters of meat color. In the texture analysis was shown a decrease in the toughness of the meat. Later, with the results of the characterizations best suited for meat (30 minutes, 30 °C) treatment was chosen. In the second stage were selected three levels of addition of phosphate to sausages (5, 2.5 and 0 %). The results of meat sausages made with meat undergoing treatment with US which showed no change in the WHC, however, the pH

of the samples was significantly higher ($p < 0.05$) than in controls, hardness decreased significantly ($p < 0.05$) and firmness of sausages was improved ($p < 0.05$) compared to controls. No changes in the color parameters of the samples, or the moisture content of these. As a conclusion, the US treatment of meat under certain conditions (30 minutes, 30 °C), allowed a reduction of the phosphate content (2.5 %) positively modifying the characteristics of emulsified meat product.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías para minimizar el procesamiento de los alimentos y los efectos adversos que esto conlleva responde a las necesidades que hoy en día tienen los consumidores por obtener productos más seguros, así como saludables. En los últimos años la industria alimentaria ha indagado en el uso de nuevas tecnologías que satisfagan estas necesidades, sin comprometer la calidad ni el valor nutricional de los alimentos, como son las AP, los pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEAIC), pulsos de luz (PL), el US, entre otras. Ésta última ha sido vista como una alternativa para el procesamiento de los alimentos, ya que se ha descubierto que tiene una gran aplicación en los procesos de congelación, cristalización, deshidratación, inactivación microbiana, en la industria láctea, cárnica, etc., (Piyasena, 2002).

El ultrasonido se define como el sonido generado por ondas que tienen una frecuencia que excede el límite de la audición del oído humano, generalmente mayor a 20 kHz. Esta es una nueva tecnología que se ha ido desarrollando para minimizar el procesamiento de los alimentos. Los efectos positivos que imparte el ultrasonido en el procesamiento de los alimentos, se deben a la mejora de la transferencia de masa, a la conservación y el análisis de éstos, a la asistencia de los tratamientos térmicos y a la manipulación de la textura, entre otros (Awad *et al.*, 2012; Knorr *et al.*, 2011).

La aplicación del ultrasonido en la industria alimentaria se debe a que se ha comprobado que éste puede causar cambios en las propiedades físicas, químicas o funcionales, ofreciendo una ventaja en términos de productividad, rendimiento y selectividad, esto debido a la cavitación acústica, que es un fenómeno provocado por la compresión y descompresión de micro burbujas que causan una liberación de energía dentro de una solución acuosa, representando así una alternativa a los tratamientos convencionales químicos o medios térmicos de procesamiento (Chemat *et al.*, 2011; Gambuteanu *et al.*, 2013; Jayasooriya *et al.*, 2007).

La industria de la carne es una de las más importantes a nivel mundial debido a la gran demanda del consumidor de carne fresca y productos derivados de ésta. Por su contenido nutricional y su alto valor de actividad de agua, está considerada dentro del grupo de los alimentos altamente perecederos, y de gran consumo en México y en el mundo (Fernández *et al.*, 2005; Restrepo *et al.*, 2001).

Una de las propiedades más importantes de la carne es la capacidad de retención

de agua (CRA), ya que tiene una influencia sobre sus propiedades tecnológicas y fisicoquímicas, así como de los productos derivados de ella, en particular en términos sensoriales y cualidades de suavidad, siendo ésta una variable relacionada con la función que realizan algunos aditivos como los son los fosfatos (Holley & Sun, 2010; Sun, 2005). Los fosfatos son usados en casi todos los alimentos, en especial en la industria cárnica, debido a que se obtienen rendimientos mayores, mejorando el sabor de la carne, como resultado de la retención de jugos naturales, asimismo favorece la retención del color, ya que disminuye la oxidación o rancidez, además de que incrementan el pH del músculo *post-rigor*, aumentando así la capacidad de retención de agua y favoreciendo el proceso de emulsión, debido a que extrae las proteínas miofibrilares, quienes son encargadas de mantener unida ésta y evitar la separación de las fases en el proceso de cocción en la elaboración de los productos cárnicos (Fisher, 1994; Lawrie & Barrado, 1974). El uso de estos aditivos, recientemente no ha sido bien visto por los consumidores, como consecuencia de que han sido asociados con una variedad de patologías como es la ganancia de peso, enfermedades de tipo renal, etc., por lo tanto, el uso de estos aditivos en los alimentos es un motivo de preocupación, cuyo impacto potencial sobre la salud podría haber sido subestimado, ocasionando una creciente demanda de la sociedad por consumir alimentos más naturales, así como saludables y libres de aditivos (Fernández *et al.*, 2005). Por este motivo, hoy en día, la industria de la carne, se encuentra en la búsqueda de nuevas tecnologías que minimicen el procesamiento de los alimentos, además de limitar el uso de aditivos como los fosfatos en sus procesos, mediante el uso de tecnologías emergentes, siendo un ejemplo el ultrasonido de potencia, debido a que se ha probado que éstos modifican las propiedades de la proteína en la carne, aumentando la capacidad de retención de agua, la cual es una de las principales funciones que realizan los fosfatos (Holley & Sun, 2010; Sun, 2005).

Aplicaciones específicamente del ultrasonido en la carne, han sido utilizadas para provocar cambios en la estructura de la misma (Cárcel *et al.*, 2007). El uso del ultrasonido de potencia ha comprobado tener efectos sobre las propiedades tecnológicas de la carne como, la textura, color, sabor, etc. La CRA de la carne aumenta durante el envejecimiento de ésta, debido a que existe una degradación en el citoesqueleto y otras proteínas estructurales (Standnik *et al.*, 2008). Algunos autores han afirmado recientemente que el aplicar un tratamiento con ultrasonido a la carne, acelera el envejecimiento de ésta, aumentando así, su CRA, debido a que el ultrasonido causa

una ruptura física en los tejidos conectivos que la conforman y ocasiona una rápida transferencia de masa, lo que provoca una mejora en la fragmentación y solubilidad de las proteínas miofibrilares, siendo éstas de suma importancia para el funcionamiento de las propiedades de la carne. La aplicación del ultrasonido ha demostrado que mejora la extracción de estas proteínas, además de ser una técnica física, que proporciona una alternativa a los tratamientos químicos convencionales (Gambuteanu *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2015; Standnik *et al.*, 2008).

I.ANTECEDENTES

1.1. La carne

1.1.1. Definición

La carne es el componente post-mortem comestible procedente de los animales vivos y domesticados, como son el ganado vacuno, cerdos, ovejas, cabras, aves de corral, así como la fauna silvestre como el venado, conejo y pescado. Se nombra carne a aquellos tejidos originarios exclusivamente de un animal en canal, una proporción que asciende a alrededor de las tres cuartas partes de los animales en peso vivo, excluyendo la piel. El componente de la canal de los animales vivos consiste en tres partes que son, el músculo, la grasa y los huesos (Hui *et al.*, 2001).

De los componentes de la canal del animal, el más importante es el músculo, ya que constituye la mayoría del peso, e inequívocamente se le considera como un sinónimo de carne, esto puede ser una suposición razonable, pero los depósitos de grasa y algunos huesos a menudo se procesan, por lo que deben ser incluidos en la definición más amplia de carne (Hui *et al.*, 2001; Molina *et al.*, 2001).

1.1.2. Composición química de la carne

Las propiedades químicas del tejido muscular y del tejido conectivo son de gran importancia para determinar el uso de la carne como alimento. Los músculos poseen características asociadas con la función que desempeñan en el cuerpo, por ejemplo, poseer grandes cantidades de tejido conectivo como el colágeno y la elastina, aquellos animales que más ejercicio realizan (Toldrá, 2010).

1.1.2.1. Grasa

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 y algunos otros como ésteres de ácidos grasos son menos activos metabólicamente, pero constituyen una reserva de energía y protegen a los órganos (Molina *et al.*, 2001).

El contenido de grasa de las carnes va desde un 3 hasta un 30 % de su composición, la cantidad y calidad de la grasa depende de la edad, sexo, alimentación y zona de la canal del animal, de donde la mitad de ella es grasa insaturada, donde predominan los ácidos grasos monoinsaturados, y la otra mitad son saturadas, destacando el ácido palmítico y el esteárico (Gaspar *et al.*, 2013).

Los otros lípidos que se encuentran en la carne son los fosfolípidos, que aunque en pequeñas cantidades, desempeñan papeles importantes en relación con el aroma y la conservabilidad de la carne y de los productos cárnicos procesados. El colesterol, aunque es un componente minoritario de los lípidos, desempeña funciones fisiológicas importantes (Molina *et al.*, 2001).

1.1.2.2. Agua

La cantidad de agua contenida en el músculo de la carne varía dependiendo de la especie, la edad, sexo y zona anatómica del tejido, esta variación está directamente relacionada con la variación de la cantidad de grasa. La cantidad de agua en la carne oscila entre 60 y el 80 % y está relacionada con la jugosidad y otros atributos sensoriales como la textura, el color o la dureza de la carne. En la etapa de *pre-rigor* la capacidad de retención de agua disminuye en la medida en que el glucógeno se convierte a ácido láctico y se libera mayor cantidad de agua causando una exudación visible (Belitz & Grosch, 2001).

Algunos factores influyen en el número de grupos reactivos de las proteínas y su habilidad para ligar agua, los de mayor influencia para las proteínas musculares son resultado de las transformaciones *post-mortem*, relacionados con la producción de ácido láctico, y cambios en la estructura celular asociados con la actividad proteolítica de algunas enzimas presentes en el músculo.

Cuando el animal está vivo presenta un pH de 7.0 a 7.2, las proteínas tienen grupos reactivos cargados negativamente que fijan agua, lo que hace que se forme una capa de una molécula de espesor alrededor de los grupos cargados, y permanecen fuertemente ligadas aún expuestas a fuerzas externas severas (Molina *et al.*, 2001). El

agua restante que se encuentra presente en el músculo, está atrapada en los espacios debido a la configuración geométrica de las estructuras de la proteína miofibrilares o levemente unidas.

1.1.2.3. Carbohidratos

Los carbohidratos están presentes en todos los tipos de carnes, pero en muy bajos porcentajes, el glucógeno es el polímero de la glucosa, este se almacena en casi todos los tejidos, hasta que se necesiten, pero fundamentalmente en el músculo esquelético y el hígado, donde pueden alcanzar valores aproximados entre 2 % al 8 % del peso húmedo de este último en los mamíferos. El contenido normal de glucógeno en el músculo oscila entre el 0.5 y 1.3 %.

La degradación de glucógeno se conoce como glucogenólisis, llamándose glucólisis al proceso por el cual el producto resultante de la glucogenólisis, la glucosa-1-fosfato, es convertida en glucosa-6-fosfato y degradado a ácido pirúvico o láctico por el sistema Embden-Meyerhof. La glucólisis ocurre anaeróbicamente y es responsable de la acumulación de ácido láctico que tiene lugar en el músculo *post-mortem*. Estos estados anormales de glucólisis *post-mortem* dan lugar a la aparición de carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE), en el primer caso y oscuras, firmes y secas en el segundo (DFD), a ambas condiciones puede estar expuesto cualquier animal, pero el primer fenómeno es más común que aparezca en la carne de cerdo, sobre todo en ejemplares de razas mejoradas las cuales son más susceptibles al estrés (Molina *et al.*, 2001).

1.1.2.4. Vitaminas y minerales

En las carnes destaca el contenido de vitaminas del grupo B, tales como la B1 (tiamina), B3 (niacina), B6 y B12, además de vitamina A, en forma de retinol. En la carne de cerdo sobresalen las vitaminas del complejo B, y en especial la B1, que se encuentra en mayor cantidad que en otras carnes, también es rica en vitaminas B6, B12 y riboflamina (Gómez, 1998). Las carnes también poseen pequeñas cantidades de otras vitaminas como la E, el ácido pantoténico y la biotina (Molina *et al.*, 2001).

En cuanto a los minerales, el hierro y el zinc son los presentes en mayor cantidad en las carnes, aproximadamente entre un 30 y un 60 % del hierro es de alta biodisponibilidad. En el caso del zinc, su disponibilidad aumenta en la presencia de proteína. Otros minerales presentes en las carnes son el cobre, magnesio, selenio, fósforo, cromo y níquel. Los minerales están presentes en la carne de cerdo en 1 %, siendo los más importantes el hierro, manganeso y fósforo (Gómez, 1998).

1.1.2.5. Proteínas

Las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Distribuidas en plantas y animales, las proteínas son el constituyente principal del protoplasma de todas las células y son esenciales para la vida (Yada, 2004).

Existen tres tipos de proteínas de procedencia muscular, la proteína sarcoplasmática que son solubles en agua o soluciones salinas diluidas y representan aproximadamente el 6 % del total del músculo, las proteínas miofibrilares que son solubles en soluciones salinas concentradas y representan el 9.5 % del total del músculo y las proteínas del tejido conectivo llamadas también proteína del estroma que son insolubles a baja temperatura en soluciones salinas concentradas (Toldrá, 2010).

Todas las proteínas poseen una misma estructura química central, que consiste en una cadena lineal de aminoácidos, lo que hace distinta a una proteína de otra, es la secuencia de los aminoácidos, a tal secuencia se le conoce como estructura primaria de la proteína. Sin embargo la secuencia lineal de los aminoácidos puede adoptar distintas conformaciones, lo que lleva a la proteína a una estructura secundaria, cuando las proteínas adoptan distintas posiciones en el espacio se dice que adoptan una estructura terciaria, asimismo a la estructura que adoptan cuando las proteínas se componen de varias cadenas polipeptídicas para formar proteínas multiméricas se denomina cuaternaria.

Las propiedades y funciones de toda proteína dependen del número y posición relativa de los aminoácidos que posee y de la naturaleza química de sus grupos laterales. Los cambios moleculares que normalmente causan la pérdida de la función biológica de las proteínas se denominan desnaturalización, la cual se produce por varias razones como, cambios en el pH, temperatura, que modifica sus cargas

propiciando repulsiones, agentes formadores de enlaces hidrógenos, calentamiento que determina ruptura de enlaces hidrógeno existentes dentro de la cadena, etc.

1.1.2.6. Desnaturalización proteica

Se llama desnaturalización de las proteínas a la pérdida de las estructuras de orden superior (secundaria, terciaria y cuaternaria), quedando la cadena polipeptídica reducida a un polímero estadístico sin ninguna estructura tridimensional fija (Anson & Mirsky, 1932).

La desnaturalización provoca diversos efectos en la proteína como, cambios en las propiedades hidrodinámicas de la misma, lo que aumenta la viscosidad y disminuye el coeficiente de difusión, provoca también disminución de la solubilidad, ya que los residuos hidrofóbicos del interior aparecen en la superficie, por este fenómeno también existe una pérdida de las propiedades biológicas (Yada, 2004). Las propiedades de las proteínas pueden ser alteradas como resultado de las operaciones de procesamiento de los alimentos, tales como, presión térmica, congelación y almacenamiento, deshidratación, la concentración, homogeneización, extrusión, procesos de membrana tales como ultrafiltración, etc. Tales cambios no son necesariamente indeseables y el procesamiento puede ser controlado para modificar intencionadamente la estructura y la funcionalidad de proteínas de los alimentos.

Una proteína desnaturalizada cuenta únicamente con su estructura primaria, por este motivo, en muchos casos, la desnaturalización es reversible ya que es la estructura primaria la que contiene la información necesaria y suficiente para adoptar niveles superiores de estructuración. El proceso mediante el cual la proteína desnaturalizada recupera su estructura nativa se llama renaturalización, en algunos casos, la desnaturalización conduce a la pérdida total de la solubilidad, con lo que la proteína precipita, la formación de agregados fuertemente hidrofóbicos impide su renaturalización, y hacen que el proceso sea irreversible (Yada, 2004).

1.1.3. Tipos de carnes

La carne es rica en proteínas y baja en carbohidratos, el contenido de grasa es muy variable según el animal y la parte de éste que se consuma. Podemos identificar dos

tipos de carnes, las cuales son la blanca y la roja, dentro de la clasificación de la primera se encuentran las carnes magras, la carne de conejo, de cabrito, de lechal, pollo, pavo, pato y avestruz, para la segunda las carnes son las carnes grasas, la de vaca, de buey, de caballo, ternera y la de cerdo.

La carne blanca contiene menos grasa que la carne roja, concretamente tiene menos grasa saturada y menos colesterol, lo que resulta cardiosaludable. Dentro de las carnes rojas es conveniente elegir cortes de carne magra, es decir, aquellos que tienen menos contenido de grasa, no toda la carne de cerdo tiene un alto contenido de grasa, los cortes que pueden formar parte de una alimentación saludable son, el lomo, solomillo y paletilla.

1.1.3.1. Carne de cerdo

El cerdo es un animal doméstico usado en la alimentación humana, su nombre científico es *Sus scrofa ssp. doméstica* (Vigne *et al.*, 2009), se trata de un cuadrúpedo con patas cortas y pezuñas, un cuerpo pesado, hocico flexible y cola corta, cabe señalar que el término cerdo proviene de cerda, lo que hace referencia a su pelo grueso.

El cerdo se encuentra hoy entre los animales más eficientemente productores de carne, sus características particulares, como gran precocidad y prolificidad, corto ciclo reproductivo, y gran capacidad de transformar los nutrientes, lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimentación. El valor nutritivo de la carne de cerdo, la señala como uno de los alimentos más completos para satisfacer las necesidades del hombre, y su consumo podría contribuir en gran medida a mejorar la calidad de la vida humana, desde el punto de vista de los rendimientos físicos e intelectuales (Gómez, 1998).

La carne fresca de cerdo ha mejorado su calidad en los últimos años, actualmente ofrece 31 % menos grasa, 14 % menos de calorías y 10 % menos de colesterol, en relación con el cerdo producido hace 10 años (Gómez, 1998). La composición de la carne de cerdo se presenta en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Composición y valor nutricional de la carne de cerdo.

Agua	75 %
Proteína bruta	20 %
Lípidos	3 %
Carbohidratos	1 %
Minerales	1 %

Fuente: Williams (2007)

El concepto calidad de la carne está formado por factores sensoriales, nutricionales, higiénicos y tecnológicos. Ante las mayores exigencias expresadas por el mercado, actualmente la producción de carne de cerdo debe abarcar todos los puntos que constituyen la cadena de la carne, es decir, desde la producción en la granja (con todos sus aspectos: sanidad, bioseguridad, manejo, genética, alimentación, etc.) hasta el consumo; pasando por el transporte, procesamiento y conservación (Gómez, 1998).

1.1.3.2. Características de la calidad de la carne de cerdo

Una de las principales características de la carne de cerdo es el color, normalmente es de un tono entre rojo y rosado, la uniformidad del color es usualmente apreciable en los músculos individuales. El consumidor puede estar en desacuerdo con la variación en el color de la carne, ya sea porque es demasiado pálida o muy intensa, esta variación del color se debe a factores como, aumento de oximioglobina, penetración de oxígeno en la superficie, contaminación bacteriana, deshidratación en la superficie o falta de acumulación de ácido láctico después del sacrificio (Hui *et al.*, 2001).

Existen problemas en la calidad de la carne de cerdo como, las carnes PSE, esto ocurre cuando el músculo de un canal es de color pálido, tiene la textura muy suave o suelta y es exudativa, o sea, que pierde mucho líquido (humedad), también influyen los factores genéticos, ambientales, de manejo, tanto del animal vivo como en canal, inmediatamente después del sacrificio. Una rápida caída del pH produce una acelerada glucólisis anaeróbica combinada con una elevada temperatura de la canal, esto da como resultado una desnaturalización de aproximadamente el 20 % de las

proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares (la combinación crítica de valores de pH inferiores a 6.0 con temperaturas superiores a 38°C), estos cambios moleculares se aprecian macroscópicamente por una pérdida de la capacidad de retención de agua del músculo y mayor palidez (Gómez, 1998).

Otra condición que deteriora la calidad de la carne de cerdo es la particularidad DFD, esta ocurre cuando las reservas de glucógeno del músculo en los animales vivos se han agotado antes de la muerte, produciéndose poco ácido láctico que da como resultado un pH muscular final elevado (>6.0), esto trae como consecuencia una vida media disminuida, ya que con el pH elevado sufre una putrefacción más rápida debido al acelerado crecimiento bacteriano, por lo tanto, necesitan de mayores concentraciones de sales durante su curado para limitar la proliferación bacteriana (Heinz & Srisuvan, 2001).

1.2. Productos cárnicos

Los productos cárnicos son elaborados a base de carne, vísceras y subproductos comestibles de animales de abasto autorizados para el consumo humano, adicionado o no con ingredientes y aditivos de uso permitido, estos productos son sometidos a procesos tecnológicos adecuados (Ranken, 2000).

Fornias & Díaz (1999) clasifican los productos cárnicos basados en su tecnología de elaboración como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Clasificación de los productos cárnicos.

PRODUCTOS CÁRNICOS			
Productos cárnicos crudos	Ejemplos	Productos cárnicos tratados con calor	Ejemplos
Crudos frescos: Sometidos a un proceso tecnológico que no incluye un tratamiento térmico.	Hamburguesa, longanizas, etc.	Embutidos y moldeados: Elaborados con un tipo o mezcla de carnes y grasas molidas o picadas, con adición o no de subproductos o aditivos.	Salchichas.
Crudos fermentados: Se someten a un proceso de maduración, que le confieren sus características organolépticas y conservabilidad.	Chorizos, salamis, jamón, etc.	Con piezas integrales curadas y ahumadas: Elaborados con piezas anatómicas integrales y aditivos, en los que el proceso de ahumado y curado tienen un papel principal.	Jamones, lomo ahumado, etc.
Salados: Son los productos crudos elaborados con piezas de carne o subproductos y conservados por medio de un proceso de salado.	Menudo salado, tocino, etc.	Semielaborados: Elaborados con carne molida, picada o en piezas, con adición o no de tejido graso.	Croquetas, nuggets, etc.
		Conservas cárnicas: tratados con calor en envases cerrados herméticamente. Estos a su vez se clasifican en semiconservas, tres-cuartos, plenas, tropicales y auto estables.	paté, pollo en escabeche, etc.

(Fornias & Díaz, 1999)

1.3. Emulsiones

1.3.1. Definición

Una emulsión se define como un sistema estable de dos líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles, donde los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas están en el rango de 0.1 y 20 μm . Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden convertirse en cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensoactivos, que presentan una capacidad de absorción en las superficies de las gotas (Aranberri *et al.*, 2006). En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra un aceite polar. Las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua (oil-in-water, o/w) y las emulsiones con agua como fase dispersa se conocen como emulsiones de agua en aceite (water-in-oil, w/o). El tipo de emulsión que se tiende a formar depende del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante.

La emulsión cárnica es un sistema de dos líquidos (grasa y agua), estabilizados mediante un agente emulsificante que provee la carne, que es la proteína. La mayoría de los autores indican que las proteínas miofibrilares, tienen mayor capacidad de emulsión de grasa que las proteínas sarcoplásmicas, este hecho se explica por la forma de sus moléculas, que son bastante alargadas y con una superficie disponible para rodear las gotas de grasa, 50 veces superior al resto de las proteínas (Molina *et al.*, 2001).

La concentración de la proteína miofibrilar y la relación proteína-grasa, son factores que afectan la capacidad y la estabilidad de las emulsiones. Las proteínas miofibrilares forman una película alrededor de los glóbulos de grasa, de manera que, cuando son sometidas a un tratamiento térmico, estas coagulan y forman una red o malla proteica muy consistente, que retiene el agua y la grasa (Molina *et al.*, 2001). La capa de proteína que rodea la grasa debe ser lo suficientemente fuerte para retenerla y muy flexible para que pueda resistir el proceso de licuefacción y expansión durante la cocción, el cual causa la desnaturalización proteica y formación de una red tridimensional estabilizada por hidrofobicidad y enlaces hidrógenos.

Según Clint (1991) el proceso de ruptura de las emulsiones puede ocurrir mediante cuatro mecanismos de inestabilidad diferentes, sedimentación, floculación, coales-

cencia y engrosamiento.

1.3.2. Emulsión cárnica embutida

Una emulsión cárnica embutida, comúnmente llamada salchicha, es un tipo de producto cárnico, en donde la carne que se utiliza en su elaboración es picada, y pueden ser sazonados o no, esto con la finalidad de obtener diferentes intensidades de sabores y perfiles. La elaboración de estos productos consta de varios pasos, primero la trituration común para reducir el tamaño de la carne y la grasa, después la mezcla de los ingredientes se embuten en una tripa, pudiendo ser natural o artificial, donde se decide las dimensiones del producto y finalmente se someten a un tratamiento térmico (Hui *et al.*, 2001).

1.3.2.1. Proceso de elaboración de una salchicha

Los ingredientes a seleccionar es una de las partes esenciales de la elaboración de una salchicha, los ingredientes más comunes se mencionan a continuación.

Carne

Las carnes crudas son generalmente de bajo valor, como cortes de alto tejido conectivo o subproductos, pero deben ser frescos y de bajo contenido microbiano. La carne seleccionada o mezcla de estas, debe tener un alto contenido en proteínas, para que puedan ser extraídas fácilmente durante la cocción (Hui *et al.*, 2001).

Sales curantes

La principal función de la sal en la elaboración de la salchicha es, disolver y extraer la proteína miofibrilar, para que estas actúen en la cocción, además que imparten sabor y tienen efectos antimicrobianos. Como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994, el porcentaje máximo de sal añadida a una salchicha debe ser de 1.5%. En cuanto a los fosfatos está permitido un 5% por kilogramo de pasta cárnica, éstos sirven para mejorar la capacidad de retención de agua, además de estabilizar el sabor y el color en el producto terminado, presumiblemente secuestra iones metálicos de transición (Fe y Cu), lo que reduce la oxidación. Los nitritos de sodio son los que se utilizan comúnmente en la elaboración de la salchicha y su

nivel máximo permisible es de 156 mg por kilogramo de pasta cárnica (Hui *et al.*, 2001; Ranken, 2000).

Hielo

La adición de hielo ayuda a la distribución de los ingredientes de la salchicha, además de aumentar el rendimiento del producto, y mantener la temperatura de la pasta por debajo de los 12°C (Hui *et al.*, 2001).

Condimentos

Los embutidos como las salchichas, son productos a los que se les añade diversas especias y aromas (la mayoría de los aromas son extractos a base de aceite). Las especias son sustancias vegetales aromáticas, en su conjunto, estas pueden ser añadidas como naturales o extractos (Hui *et al.*, 2001).

La elaboración de una emulsión cárnica embutida, o salchicha, consta de siete pasos esenciales, el primer paso es pesar la grasa y la carne magra (1 y 12°C) como segundo paso, la carne se pica en pequeños cubos, en el tercer paso se realiza el curado de la carne, donde se añaden todas las sales curantes, los fosfatos y los nitritos, también se le pueden añadir extensores, conservadores, saborizantes artificiales o naturales, después la carne es llevada a la cutter donde se añade la grasa, y se realiza el proceso de picado manteniendo la temperatura por debajo de los 12°C, hasta formar una pasta homogénea, fina y fría, para posteriormente llevarla al embutido que es el sexto paso. En este proceso se pueden usar tripas naturales o artificiales, después se llevan a una marmita u olla con agua caliente (80°C), para que la temperatura interna del producto este aproximadamente a 75°C, y se dejan ahí durante 40 minutos, después las salchichas se dejan enfriar a temperatura ambiente o por inmersión en agua fría, tratando que esta tenga la menor carga microbiana posible, para evitar la contaminación del producto y por último se prosigue a almacenar el producto y son colocadas en un congelador a 4°C si estas serán analizadas o en un refrigerador para ser consumidas posteriormente.

En la Tabla 1.3 se muestra la clasificación de las salchichas según Hui *et al.* (2001).

Tabla 1.3. Clasificación de las salchichas.

Salchichas	Frescas	Curadas	Fermentadas
Descripción	Las salchichas que contengan hasta 50 % en grasa proveniente de su materia prima. Estas salchichas no llevan ningún tipo de extensores en su proceso de elaboración como la de cerdo, estilo italiano, polaco .	Curadas con nitritos y condimentos que ayuden a que tengan un sabor y olor específico, normalmente también son ahumados	Se dividen en secos y semisecos, para ambos grupos el ácido láctico es producido intencionalmente, por lo que la carne se fermenta y provoca una disminución del pH el cual debe ser de 4.8 a 5.2, la clasificación se debe a su contenido de humedad.

1.4. Aditivos

Un aditivo alimentario es toda sustancia que no se consume normalmente como alimento aunque tenga carácter alimenticio, que teniendo o no valor nutritivo se añade con un fin tecnológico determinado en cualquier fase de la fabricación del alimento. Los aditivos alimentarios se usan normalmente para mejorar la apariencia y el sabor de los alimentos, así como para prolongar su vida útil. Su incorporación o la de sus derivados en el alimento puede afectar o no, directa o indirectamente, las características de dicho alimento (Molina *et al.*, 2001). Los colorantes, estabilizantes, emulsionantes, endulcorantes, etc., son conocidos globalmente como aditivos.

1.4.1. Fosfatos

Son compuestos inorgánicos, basados en el elemento de fósforo (P), combinado con oxígeno para formar fosfatos (PO_4), la forma en que el fósforo está presente en naturaleza.

El empleo de los fosfatos en la industria cárnica se debe principalmente a que elevan el pH de la carne y solubilizan las proteínas del músculo. En el punto isoeléctrico de la carne, el pH de la carne varía de un valor de 5 a un 5.5, en donde la retención de agua es mínima, por lo tanto cualquier aditivo agregado eleva significativamente el

pH de la carne aumentando así la retención de agua de la carne (Hui *et al.*, 2001). Las primeras investigaciones sugieren que un aumento en el pH de la carne favorecen la retención de agua en la carne (Mahon, 1961); sin embargo, la adición de 2 a 5 % de tripolifosfato sódico a la carne solo aumenta el pH de 0.1 a 0.3 unidades.

Los fosfatos son esencialmente formas de sal de ácido fosfórico, y existen dos tipos reconocidos, los simples, que son fosfatos orto que contienen un único fosfato aniónico, y los poli que son fosfatos condensados, que contienen dos o más aniones de fosfatos. Las funciones de los fosfatos en las carnes incluyen un rendimiento mayor, retrasan la rancidez oxidativa y estabilizan el color.

Existen diversos tipos de fosfatos clasificados en alcalinos y ácidos, los fosfatos alcalinos se añaden para aumentar la fuerza del ligado y retención de agua, mediante diversos mecanismos. Estos ayudan conjuntamente con la sal, a la liberación de las proteínas solubles de la carne (actina y miosina). La adición de sal afecta la fuerza iónica del sistema, específicamente, el ion cloruro (Cl⁻) es ligado fuertemente por los grupos cargados positivamente y como consecuencia, estos últimos son prácticamente eliminados, mientras que el ion sodio se liga sólo débilmente por las cargas negativas, el efecto neto de este fenómeno es un desplazamiento del punto isoeléctrico hacia un pH más bajo, lo que provoca una mayor repulsión electrostática de las proteínas musculares, y lo cual finalmente permite que existan más sitios cargados para ligar agua.

El incremento de la CRA por parte de los fosfatos tiene como resultados la reducción de la pérdida de agua durante el cocimiento, incremento del rendimiento después del cocimiento, reducción de la pérdida de agua durante la descongelación, incremento de la suavidad, retención de sabor por menor pérdida de los jugos propios de la carne durante el cocimiento, reducción del quemado por frío, incremento de la capacidad de ligado entre piezas musculares y prolongación de vida en anaquel por la habilidad de secuestrar el hierro que cataliza las reacciones de oxidación de las grasas. Desde que el USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) autorizó en 1982 la incorporación directa de ciertos fosfatos a productos embutidos, su uso se ha expandido a una amplia gama de productos de ave, bovino y porcino. Según McCormick (1983) los fosfatos cumplen varias funciones en los productos cárnicos, ya que son capaces de actuar por separado en la actina y la miosina, esta es la razón principal del uso mundial de los fosfatos, otra de las funciones importantes de los fosfatos es que al adicionarlos junto con la sal a un

producto cárnico, la proteína muscular se convierte en solubles y solubilizados, ésta se puede inmovilizar a altos niveles de agua añadida, así como emulsionar una gran cantidad de grasa, dado que la proteína de la carne es un excelente emulsionante de grasas.

Los fosfatos aprobados para su uso en la industria cárnica son, fosfato disódico, fosfato monosódico, metafosfato de sodio, polifosfato de sodio vítreo, tripolifosfato de sodio, pirofosfato de sodio, pirofosfato ácido de sodio, sodio hexametáfosfato, fosfato dipotásico, fosfato monopotásico, potasio tripolifosfato y pirofosfato de potasio. El tripolifosfato y sus mezclas con hexametáfosfato son los fosfatos más utilizados para las carnes curadas, ya que, en la mayoría de los casos, éstos exhiben la combinación más beneficiosa de propiedades (Hui *et al.*, 2001) El tripolifosfato de sodio, es probablemente, el más utilizado en la industria de las carnes, las mezclas de diferentes fosfatos son comúnmente utilizados para una aplicación específica y realizar mejores funciones que solo un tipo de fosfato.

1.5. Tecnologías emergentes

Hoy en día los consumidores toman en cuenta dos factores importantes a la hora de adquirir productos alimenticios, que son la calidad y la seguridad. La base de los procesos físicos (calefacción, congelación, deshidratación y embalaje) y químicos (reducción de pH y uso de conservadores) implica la reducción del crecimiento microbiano para evitar cambios químicos indeseables, siendo probablemente el método más común de preservación el tratamiento térmico como la pasteurización o la esterilización. Sin embargo, a pesar de que estos métodos efectivamente reducen los niveles de microorganismos en los alimentos tales como las bacterias, este procesamiento puede alterar el sabor natural y destruir las vitaminas de los alimentos (Sun, 2005). La esterilización de los alimentos realizado por técnicas convencionales dan lugar a una serie de modificaciones en los alimentos como cambios en el color, olor, pérdida de textura, valor nutritivo y una reducción en la calidad aparente del producto final. Uno de los objetivos de los fabricantes de alimentos es desarrollar y emplear tecnologías que reduzcan los cambios indeseables en los alimentos debido a su procesamiento. Por esta razón nuevas tecnologías de procesamiento de

alimentos se están explorando e implementando, para proporcionar mayor calidad en los alimentos, así como mantener el sabor fresco, y el valor nutricional de éste, sin el uso de conservadores químicos, ni tratamientos térmicos. Algunos ejemplos son mencionados a continuación.

1.5.1. Pulsos eléctricos de alta intensidad de campo

Los pulsos eléctricos de alta intensidad de campo (PEAIC), son un tratamiento no térmico, y son considerados una tecnología emergente que ha sido desarrollada para inactivar microorganismos en los alimentos, como son mohos, levaduras y bacterias e inactivación de enzimas, manteniendo la calidad de los mismos (Sun, 2005). Los PEAIC consisten en la aplicación de intensidades altas de campo de 15-40 $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$, el tratamiento se realiza colocando al alimento en una solución electrolítica, que tenga una baja conductividad térmica entre dos electrodos, mediante los cuales se hace pasar la corriente eléctrica, generalmente por un periodo corto de tiempo (micro-segundos).

Se considera que los PEAIC afectan la membrana citoplasmática, lo que conduce a la formación de poros, así como a la desintegración de células que a menudo es una clave en la etapa del procesamiento en las operaciones de los alimentos, este proceso puede ser reversible o irreversible, dependiendo de la intensidad del tratamiento. Los PEAIC se aplican en diversos procesos de tratamiento de los alimentos, como son la extracción de especies vegetales, obteniendo mayores rendimientos y manteniendo sus propiedades curativas o nutritivas, como pre-tratamiento para la deshidratación de frutas y hortalizas, ya que mejora la transferencia de masa debido a un incremento en la permeabilidad de las células (Cerón-Carrillo *et al.*, 2010). Posiblemente en el área de los alimentos sólidos (pescado y carne), esta tecnología podría emplearse como pre-tratamiento de la deshidratación o extracción de compuestos, tales como enzimas, aceites, etc., ya que solo pueden someterse a tratamientos hasta de 1200 $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$, sin que se realicen cambios en la estructura o textura. Los estudios realizados lanzan buenas perspectivas sobre su uso, ya que se han obtenido resultados prometedores sobre los procedimientos convencionales para el tratamiento de los alimentos (Sun, 2005).

1.5.2. Altas presiones (AP)

Las AP ha demostrado un potencial considerable como una tecnología nueva, alternativa a los tratamientos térmicos, garantizando la seguridad y la calidad en los atributos de los alimentos mínimamente procesados (Palou *et al.*, 2002).

Las AP, también denominadas como ultra alta presión, es una técnica de procesamiento en frío, donde se somete al alimento con o sin embalaje a presiones que se encuentran en un rango de 50 y 1000 MPa. El equipo de AP consta fundamentalmente de una cámara de presurización, un generador de presión y un sistema de control de temperatura.

Se ha comprobado que el uso de esa tecnología provoca efectos beneficiosos en los alimentos, estos beneficios son evidentes en diversas áreas de procesamiento de los alimentos, tales como la inactivación de microorganismos y enzimas, la desnaturalización y alteración de la funcionalidad de las proteínas y los cambios estructurales en los materiales alimenticios (Palou *et al.*, 2002; Sun, 2005).

El uso de las AP en la industria de la carne y productos cárnicos se utiliza principalmente para aumentar la vida útil y mejorar la seguridad alimentaria de productos listos para su consumo, así como para la modificación de los parámetros de calidad tales como el color, la textura y capacidad de retención de agua. Las alteraciones no tienen un impacto negativo en el valor nutricional, por lo tanto, se puede emplear como una nueva alternativa en el desarrollo de productos (Holley & Sun, 2010).

La aplicación de presión sobre las proteínas conduce a diferentes grados de modificación de la estructura de éstas, esto puede ocurrir dependiendo de la proteína y las condiciones aplicadas a la desnaturalización parcial o total. Las proteínas plasmáticas, incluyendo proteínas miofibrilares se despliegan hasta una presión de 300 MPa, presiones por encima de estas, aumentan el nivel de desnaturalización, la formación de gel y la aglomeración de proteínas.

Las AP provocan cambios dramáticos en el color de carnes frescas e induce modificaciones en la textura al afectar la estructura miofibrilar de las proteínas, aumenta la solubilidad de proteínas miofibrilares y causa despolimerización, por lo tanto mejora la gelificación de la carne fresca (Li *et al.*, 2014).

1.5.2.1. Uso de altas presiones en carne

Con el fin de atender las demandas de los consumidores por adquirir productos cárnicos más saludables, recientemente se ha investigado el efecto del US de alta intensidad en las propiedades de la carne para modificar su estructura, aunque aun no existen estudios que utilicen esta tecnología para ayudar a reducir el contenido de aditivos en productos cárnicos. Sin embargo otro tipo de tecnología como lo son las AP han realizado estudios (Tabla 1.4), con el fin de reducir en contenido de sal y fosfatos en la elaboración de salchichas, los cuales han sido asociados con una gran variedad de enfermedades producidas por su consumo. El US y las AP, logran modificar la estructura de un alimento para un fin en específico, lo cual nos permite sugerir que el ultrasonido de alta intensidad al igual que en AP, podría ser usado como una alternativa para reducir el contenido de fosfatos en las salchichas.

Tabla 1.4. Estudios reportados de la reducción del contenido de aditivos en productos cárnicos empleando AP.

Autor	Tecnología empleada	Materia prima	Objetivo del trabajo
O'Flynn <i>et al.</i> (2014a)	Altas presiones	Carne de cerdo	Reducción de los niveles de fosfatos en la elaboración de salchichas.
O'Flynn <i>et al.</i> (2014b)	Altas presiones	Carne de cerdo	Reducción del contenido de sal y fosfatos en salchichas.
Crehan <i>et al.</i> (2000)	Altas presiones	Mezcla de carne de cerdo y res	Reducción del contenido de sal en salchichas
Grossi <i>et al.</i> (2012)	Altas presiones	Carne de cerdo	Reducción del contenido de sal en salchichas

O'Flynn *et al.* (2014a) realizaron un estudio con el fin de reducir el contenido de fosfatos en la fabricación de salchichas elaboradas con carne de cerdo. La materia prima previamente picada se sometió a un tratamiento por AP a 150 y 300 MPa, durante 5 minutos. Muestras preparadas de la misma forma sin ser sometidas al tratamiento se usaron como control. Se fabricaron salchichas con 0, 0.25 y 0.50 %

de contenido de tripolifosfato de sodio. Entonces se realizaron análisis de textura, color, humedad, grasa, proteína, ceniza, sal y estabilidad de la emulsión en salchicha cruda y cocida, por último se realizó un análisis sensorial. Se observó un efecto significativo sobre la cantidad de fosfato añadida a las salchichas. La aplicación de AP a 150 MPa, con 0.25 % de contenido de fosfatos, no afectó significativamente la textura y aceptabilidad del producto en comparación con las muestras control. La estabilidad de la emulsión no se vio afectada al reducir el contenido de fosfato (0.25 %) o al eliminarlo (0 %), sin embargo a 300 MPa la funcionalidad de la salchicha se ve afectada negativamente. Se puede concluir que la aplicación de AP a la pasta cárnica para elaborar salchichas a 150 MPa durante 5 minutos, a temperatura ambiente, logra reducir el contenido de fosfatos a un 0.25 %, sin cambios significativos o negativos en la salchicha.

O'Flynn *et al.* (2014b) evaluaron el efecto de las AP sobre el contenido de sal y fosfato en salchichas. Éstas fueron elaboradas con carne de cerdo, la cual fue picada y sometida a un tratamiento de MPa 150 MPa durante 5 minutos, manteniendo el nivel de fosfato en un 0.25 % y reduciendo los niveles de sal (2.5, 2.0, 1.5, 1.0 y 0.5 %), salchichas fabricadas de la misma manera sin tratamiento fueron utilizadas como control. Humedad, pH, grasa, proteína, estabilidad de la emulsión, CRA, pérdidas por cocción, análisis de textura y color se determinaron en salchicha cruda y cocida, se realizó un análisis sensorial en la salchicha terminada. Los resultados mostraron que los atributos de calidad de las salchichas elaboradas con contenido de sal por debajo de 1.5 % se vieron modificados. La estabilidad de la emulsión, el pH y la CRA no se vio afectada cuando los niveles de sal se redujeron de 2.5 a 1.0 %. Las pérdidas por cocción aumentaron cuando se redujeron las cantidades de sal de la salchicha por debajo de 2.0 %. En general, se observó que las AP logran reducir el contenido de sal (1.25 %) y fosfatos (0.25 %), en la elaboración de salchichas, manteniendo sus atributos texturales, sensoriales y propiedades funcionales.

Crehan *et al.* (2000) estudiaron el efecto de las AP, sobre el contenido de sal en la elaboración de salchichas tipo Frankfurt. Mezcla de carne de cerdo y res fueron usadas como materia prima, y sometidas a un tratamiento de AP a 150 MPa y 300 MPa a temperatura ambiente, durante 5 minutos. Los embutidos tratados fueron elaborados con pasta cárnica tratada y no tratada (control) con 1.5 y 2.5 % de contenido de sal. Se evaluaron las pérdidas por cocción, la estabilidad de la emulsión, la textura, color, los aspectos microbiológicos y se realizó un análisis sensorial al producto

terminado. El estudio realizado, sugiere que al aplicar AP a 150 MPa a la pasta cárnica para elaborar salchichas, los niveles de sal se pueden reducir en un 1.5 %, sin notar algún cambio abrupto en las pérdidas por cocción o en la estabilidad de la emulsión. No se notó algún efecto significativo en el cambio de color interno de las salchichas, y se observó una mejor aceptación en el sabor de las salchichas tratadas con AP, además que muchas de las características sensoriales fueron mejoradas. Este estudio sugiere el uso de las AP es una alternativa para reducir el contenido de sal de las salchichas mejorando sus atributos texturales.

Grossi *et al.* (2012) evaluaron el efecto de las AP en carne de cerdo para reducir el contenido de sal en su elaboración, sustituyéndola por fibra de zanahoria y almidón de papa. Se elaboraron salchichas con diferentes proporciones de sal (1.8 y 1.2 %) y fibra/almidón (0, 0.5 y 1.5 %). Las salchichas se sometieron a un tratamiento de AP a 400, 600 y 800 MPa durante 5 minutos, con una variación de temperatura de 5 – 40°C, las salchichas usadas como control (sin tratamiento) se mantuvieron a esa temperatura. Se evaluó el color en las salchichas, la capacidad de unión de agua, textura y la solubilidad de la proteína. Los resultados mostraron que, el tratamiento con AP (600 MPa y 40°C) mejoró la fijación de agua en las salchichas de bajo contenido en sal (1.2 %) por adición de fibra de zanahoria o papa, las salchichas con mejor aceptación sensorial fueron las adicionadas con almidón de papa, lo que sugiere que esta tecnología puede ser usada como una alternativa para producir salchichas reducidas en sal.

Nuevas tecnologías semejantes a ésta, pero que resulten mas económicas y faciliten el procesamiento de los alimentos, por lo que ha sido investigado el uso de los ultrasonidos en el procesamiento de los alimentos.

1.6. Ultrasonido (US)

El ultrasonido es el término utilizado para describir las ondas de sonido que tienen una frecuencia mayor a 20 kHz (Figura 1.1). Los recientes avances científicos diversificaron las aplicaciones de esta tecnología en la ciencia y la tecnología de los alimentos, sin embargo, el US no puede ser simplemente generalizado para satisfacer las demanda de muchas aplicaciones, por lo que cada equipo debe ser diseñado de acuerdo a las necesidades de cada proceso, saber los términos del diseño de la

sonda, la geometría y las condiciones de operación que proporcionen resultados óptimos para cada aplicación (Knorr *et al.*, 2011).

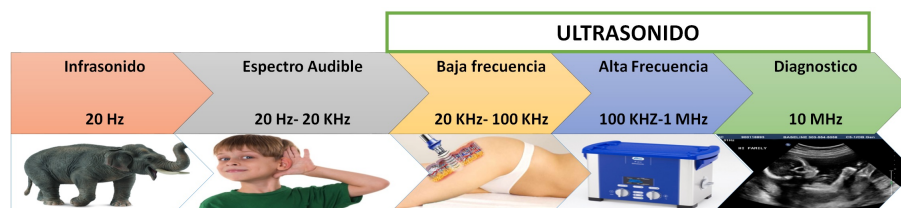


Figura 1.1. Escala del sonido.

1.6.1. Generalidades

El US es una tecnología que puede aplicarse en procesos alimenticios y se considera que el criterio de mayor importancia es la cantidad de energía del campo generador de sonido, el cual está caracterizado por el poder (W) y la intensidad ($W \cdot m^{-2}$) del sonido o por la densidad de energía del sonido ($W \cdot m^{-3}$). Generalmente el US se usa y denomina como aplicación de alta y baja intensidad (Jong & Villamiel, 2000; Robles & Ochoa, 2012).

1.6.2. Clasificación del US

En función de la frecuencia el US se clasifica en dos grandes grupos.

Ultrasonido de baja intensidad (UBI)

El UBI es actualmente uno de los métodos de análisis no destructivos más utilizados. Durante mucho tiempo el UBI ha sido utilizado para el estudio de las propiedades fisicoquímicas y estructurales de los alimentos (McClements & Gunasekaran, 1997).

El UBI tiene frecuencias mayores a 100 kHz e intensidades por debajo de $1 W \cdot cm^{-2}$, este tipo de ultrasonidos se usa principalmente para el análisis de los alimentos durante su procesamiento y almacenamiento, el control de la calidad de las frutas y vegetales, el mejoramiento genético del ganado, la evaluación de la composición de los productos cárnicos crudos y fermentados, pescados y aves de corral, para el procesamiento de productos lácteos, aceites, pan, granos, geles hechos a base de

alimentos, etc. (Awad *et al.*, 2012).

Ultrasonidos de alta intensidad (UAI)

Los UAI tienen frecuencias entre 20 y 500 kHz e intensidades superiores a $1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, este tipo de ultrasonidos causan efectos o modificaciones en la estructura de los alimentos. El UAI ha sido utilizado para procesos como secado, congelado, descongelado, extracción, entre otros, así como para modificar las características texturales de productos grasos, para procesamiento de emulsiones y para modificar las propiedades funcionales de las proteínas de los alimentos e inactivar o acelerar la actividad enzimática (Knorr *et al.*, 2011).

La ventaja del uso de esta tecnología es que es rentable para la industria alimentaria, sin embargo, todavía se necesitan más esfuerzos de investigación, para lograr el desarrollo de eficientes sistemas ultrasónicos de potencia que soporten operaciones a gran escala y que se puedan adaptar a diversos procesos (Gallego-Juárez *et al.*, 2010).

1.7. Ultrasonido de alta intensidad

Hoy en día, el ultrasonido de potencia se considera una tecnología emergente y prometedora para el procesamiento de los alimentos en la industria (Sun, 2005), además de haber sido desarrollada para minimizar el procesamiento y maximizar la calidad, así como garantizar la seguridad de los productos alimenticios.

Hasta hace poco la mayoría de las aplicaciones del US en los alimentos era el análisis no invasivo, similares a las técnicas usadas en la medicina únicamente para diagnóstico. En los últimos años tecnólogos de alimentos han descubierto que es posible emplear una forma más potente ($>5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$) de éstos a una frecuencia inferior (alrededor de 40 kHz), esto se conoce generalmente como ultrasonidos de potencia. La aplicación del US se puede dar de tres maneras, aplicación directa al producto, acoplada a un dispositivo o sumergido en un baño, la manera de aplicación de los tratamientos, depende directamente de la finalidad para usar esta tecnología (Chemat *et al.*, 2011). Actualmente, el empleo del US en el procesamiento de alimentos

está basado en la ventaja que representa sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso y mejorar atributos de calidad, además es considerada una tecnología limpia. Fundamentalmente está establecido que el fenómeno de la cavitación es el que produce el efecto conservador del US, ya que de esta manera se promueve la formación brusca de micro burbujas, las cuales generan la liberación de energía, permitiendo un aumento de temperatura que produce los diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos en el micro entorno de las células de los diferentes productos procesados (Robles & Ochoa, 2012).

1.7.1. Fenómeno de cavitación

El principio del funcionamiento del US está basado en la cavitación como lo explica Zheng & Sun (2006), cuando una onda de sonido se propaga a través de un medio líquido de forma longitudinal, se crean ciclos de compresión y expansión alternados, cuando la presión negativa en el líquido creada por el ciclo de expansión es lo suficientemente menor para superar las fuerzas intermoleculares se forman pequeñas burbujas, durante el siguiente ciclo de expansión-compresión las burbujas de gas se expanden y contraen simultáneamente, esta formación de las burbujas y su evolución de tamaño se le conoce como cavitación, proceso que se muestra en la Figura 1.2.

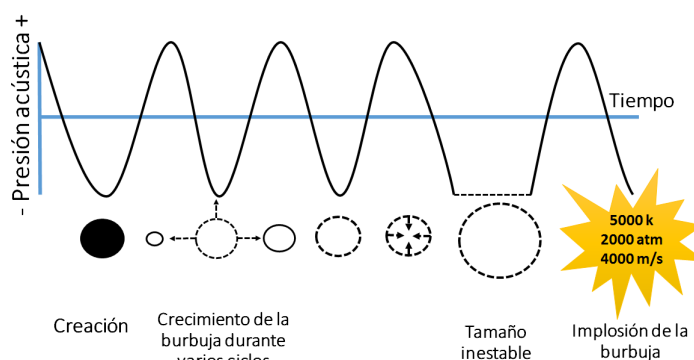


Figura 1.2. Proceso de cavitación.

La cavitación se puede clasificar en acústica, hidrodinámica, óptica y de partícula, basándose en el modo de generación (Gogate *et al.*, 2006), pero solo la cavitación de tipo acústica e hidrodinámica son capaces de generar intensidades para provocar

cambios físicos y químicos en diferentes sistemas de los alimentos. Los factores que afectan el proceso de cavitación son las propiedades físicas del solvente, la temperatura, la frecuencia de irradiación, la presencia de gases disueltos, la limpieza del sistema de reacción, la frecuencia del ultrasonido, la presión hidrostática, la tensión superficial y la potencia de irradiación (Young, 1989).

Las ondas sonoras pueden viajar a través de diversos medios, como puede ser un líquido, un sólido o un gas y los parámetros que las describen son los siguientes:

- **La velocidad acústica** (V , $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), éste parámetro está relacionado con la elasticidad y la densidad de la materia. La Ecuación 1.1 relaciona la velocidad con la longitud y la frecuencia de onda.

$$V = \lambda \cdot f \quad (1.1)$$

- **La frecuencia** (f , kHz), mide el número de ciclos o vibraciones que se realizan en cada segundo de tiempo. La frecuencia está dada por la Ecuación 1.2.

$$f = 1/T \quad (1.2)$$

- **La atenuación**, es la reducción del nivel de una señal al atravesar un elemento. La intensidad de energía aplicada disminuye con el grosor del material, normalmente aumenta con la frecuencia y se mide en decibels y/o porcentajes. La impedancia acústica es el producto de la densidad y la velocidad del sonido, que afecta al coeficiente de reflexión. La atenuación (A) y la impedancia acústica (Z), se expresan de la siguiente manera:

$$A = A_0 e^{-ax} \quad (1.3)$$

$$R = \frac{A_T}{A_t} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1.4)$$

donde, A_0 es la amplitud de la onda, x es la distancia recorrida, R es la relación de la amplitud de la onda reflejada A_T , a la onda incidente A_t , Z_1 y Z_2 son las impedancias acústicas de dos materiales.

- **La longitud de onda** (λ), se define como la distancia que recorre una onda electromagnética en un tiempo igual a un periodo. La longitud de onda se relaciona con su frecuencia y su velocidad como se muestra en la Ecuación 1.5.

$$\lambda = c \cdot f^{-1} \quad (1.5)$$

donde $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, que es la velocidad de la luz en el vacío.

- **La amplitud** (A, m), es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasiperiodicamente en el tiempo.
- **La intensidad** ($I, \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), mide la potencia que atraviesa una unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la onda y está representada por la Ecuación 1.6.

$$I = \frac{P_{amax}}{2\rho v} \quad (1.6)$$

Donde P_{amax} , es la presión máxima (atm), ρ es la densidad del medio ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y v es la velocidad en el medio ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

- **La densidad de energía acústica** ($\epsilon, \text{J}\cdot\text{m}^{-3}$), representa la cantidad de energía acumulada en un sistema o una región en el espacio por unidad de volumen. Equivale al cociente entre la intensidad y la velocidad, como se muestra en la Ecuación 1.7.

$$\epsilon = \frac{I}{V} \quad (1.7)$$

- **La potencia** (P, W), es la cantidad de energía por unidad de tiempo emitida por una fuente determinada en forma de ondas sonoras.

1.7.2. Aplicación del ultrasonido de alta intensidad en carne

Varios estudios (Tabla 1.5) han demostrado la eficacia de los ultrasonidos de alta intensidad como una tecnología para el procesamiento de la carne utilizando equipos

de tipo baño y sonda, usando las frecuencias disponibles comercialmente y esto ha demostrado ser satisfactorio, asimismo, ha influido la combinación de las variables de proceso tales como la temperatura, tiempo y la potencia acústica utilizada.

Tabla 1.5. Estudios reportados del tratamiento con ultrasonido en carnes.

Autor	Tipo de ultrasonido		Condiciones del proceso			Materia prima
	Sonda	Baño	Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Condiciones	
Got <i>et al.</i> (1999)		X	0 y 30	25	2.6 MHz y 10 W·cm ²	Carne de vacuno (<i>M. semimembranoso</i>)
Jayasooriya <i>et al.</i> (2007)	X		0, 30, 60, 120 y 240	15-30	24 kHz y 12 W·cm ²	Carne de bovino (<i>Longissimus lumbar</i> y <i>torácico</i> y <i>M. semitendinoso</i>)
Standnik <i>et al.</i> (2008)		X	0 y 120	4	45 kHz y 2 W·cm ²	Carne de vacuno (<i>M. Semimembranoso</i>)
Li <i>et al.</i> (2014)	X		0, 180 y 360	25	20 kHz y 450 W	Carne de pechuga de pollo (Normal y PSE)
Li <i>et al.</i> (2015)		X	0, 600, 1200, 1800 y 2400	15	40 kHz y 300 W	Geles de pechuga de pollo
Chang <i>et al.</i> (2015)		X	0, 600, 1200, 1800, 2400, 3000 y 3600	20	40 kHz y 1500 W	Carne de vacuno (<i>M. Semimembranoso</i>)

Got *et al.* (1999) realizaron un estudio, donde se trató de probar el efecto del ultrasonido sobre las propiedades de envejecimiento de la carne de vacuno, para ello fueron tratadas muestras de carne de ocho músculos (*M. semimembranoso*), de geometría circular (3 cm de alto × 4.5 cm de diámetro) cortadas paralelamente en dirección a las miofibrillas. Las muestras fueron colocadas en bolsas transparentes de 50 mm de espesor, que posteriormente se envasaron al vacío, y se sometieron a un proceso de envejecimiento durante 2, 3, 6 y 14 días. El tratamiento con ultrasonido

se realizó con un generador de frecuencia conectado a un amplificador de frecuencia, vinculado a un transductor, donde se manejaron condiciones de 2.6 MHz y $10 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, la temperatura se mantuvo en 25°C e inmediatamente después del tratamiento, las muestras fueron sumergidas en agua a 15°C , muestras cortadas y almacenadas de la misma forma fueron usadas como controles. Se realizaron análisis de medición de pH, análisis de la estructura de la carne mediante microscopia electrónica de barrido, análisis de rayos-X, medición de la liberación de b-glucuronidasa, medición de la longitud del sarcómetro y estabilidad térmica del colágeno total. Los resultados mostraron un incremento en el pH de 5 de las muestras tratadas con ultrasonido, se vio una mejora en el índice de envejecimiento en muestras sonicadas después de 6 días de almacenamiento, sin embargo, no se llegó a ninguna conclusión en este estudio, sobre la eficacia del US para aumentar el envejecimiento de la carne, además de que ninguna mejora se notó en cuanto a la disminución de la resistencia mecánica en las miofibrillas, ni el contenido total de colágeno se vio modificado. Llegando a la conclusión de que el US de alta intensidad tiene un efecto limitado sobre la estructura y composición de la carne.

Jayasooriya *et al.* (2007) realizaron un estudio con el fin de observar el efecto que causa la combinación de la aplicación de ultrasonido de alta intensidad con el tiempo de envejecimiento sobre las propiedades de dos tipos de músculos (*Longissimus lumbar* y *torácico* y *M. semitendinoso*), para ello, realizaron dos experimentos. El primero con el fin de determinar el tiempo de exposición de las muestra al ultrasonido, hasta observar una mejora en el ablandamiento de la carne. Las muestras fueron cortadas con dirección a las fibras y en forma de bloques de $60 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ (longitud $\times$ alto $\times$ ancho, respectivamente), de 50 g. de peso aproximadamente. Las muestras fueron envasadas al vacío, después se almacenaron a 5°C , hasta su uso, dependiendo de los días de envejecimiento, que fueron para el primer experimento 0, 1, 3, 5 y 8.5 días, y para el segundo 0, 3 y 7 días, las muestras fueron sometidas al ultrasonido durante 0, 30, 60, 120 y 240 segundos. Los tiempos de exposición al ultrasonido fueron de 0, 60, 120 y 240 segundos, en ambos experimentos las condiciones usadas en el ultrasonido fueron de 24 kHz y una densidad de potencia de $12 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$, los experimentos se realizaron a temperatura ambiente, notando un incremento de temperatura hasta de $15 - 30^{\circ}\text{C}$. Se realizaron pruebas de textura instrumental utilizando la Warner-Bratzler, pérdidas por goteo, cocción, y en el segundo experimento se añadió el análisis instrumental de color. Los resultados

mostraron un aumento en el pH, con el aumento del tiempo de envejecimiento y de exposición al ultrasonido de las muestras en ambos experimentos. Las pérdidas por goteo, cocción y totales no se vieron modificadas por el tratamiento con ultrasonido en cualquiera de los experimentos. Asimismo los parámetros de color no se vieron modificados en ningún tiempo de aplicación de ultrasonido, ni envejecimiento de la carne. En general el tratamiento con ultrasonido de alta intensidad, redujo significativamente la dureza de la carne en comparación con las muestras no tratadas, después de los 60 segundos de aplicación.

Standnik *et al.* (2008) realizaron un estudio para evaluar el comportamiento del ultrasonido de alta intensidad, sobre las propiedades de la CRA y la microestructura de la carne de vacuno (*M. semimembranoso*) durante el periodo de envejecimiento. Se usaron muestras cortadas en forma de bloques de 70 mm × 70 mm × 80 mm (longitud × alto × ancho, respectivamente) de 400 g. aproximadamente, y se envasaron en bolsas de polietileno a 4°C hasta su uso. Las muestras fueron sometidas a un ultrasonido tipo baño de alta intensidad manejando una frecuencia de 45 kHz y una potencia de 2 W·cm⁻², manteniendo una temperatura de 4°C. El ultrasonido se aplicó durante 120 segundos y después las muestras se almacenaron durante 0, 24, 45, 72 y 96 horas, posteriormente se realizaron análisis de CRA, pH, RMN y microestructura. Los resultados muestran que no existe ninguna alteración en el pH de la carne antes de las 48 horas de almacenamiento, después de este tiempo el valor del pH, tiende a incrementar, la CRA aumento en las muestras sonicadas y almacenadas después de 24 horas, en comparación con las muestras control. Lo que sugiere que la sonicación acelera el proceso de envejecimiento de la carne, seguido por una fragmentación de las proteínas en su estructura.

Li *et al.* (2014) evaluaron el uso del ultrasonido de alta intensidad, para mejorar la propiedades funcionales de la carne normal y PSE de pechuga de pollo. Las muestras fueron cortadas en cubos de 1 cm × 1 cm × 1 cm (longitud × alto × ancho, respectivamente), se mezclaron y colocaron en bolsas de polietileno a -18°C. El tratamiento se llevó a cabo con un ultrasonido tipo sonda a 20 kHz y 450 W de potencia, se realizaron análisis de color, pH, pérdida por goteo, determinación de tamaño de partícula, fuerza de gel y CRA. Los resultados mostraron que para las muestras de carne PSE sonicadas a los 6 minutos, aumento significativamente su pH, fuerza de gel, viscosidad, elasticidad, y CRA, dándole propiedades similares a las de la carne normal de pechuga de pollo. El tratamiento no fue capaz de inducir

un aumento en la extracción de la proteína soluble. Sin embargo existió un aumento de pH y una reducción en el tamaño de partícula y con mayor uniformidad. Lo que sugiere que el ultrasonido de alta intensidad se puede emplear como una técnica para modificar las propiedades de la carne PSE de pechuga de pollo para desarrollar productos cárnicos procesados con una funcionalidad única.

Li *et al.* (2015) evaluaron el efecto del ultrasonido sobre las propiedades funcionales de los geles hechos a base de pechuga de pollo, con el fin de reducir el contenido de sal en su elaboración. Para esto, los geles se elaboraron agregando pechuga de pollo (75 %), agua/hielo (23-24 %) y tres cantidades diferentes de sal (1, 1.5 y 2 %), posteriormente fueron envasadas en bolsas de polietileno de 3 mm de espesor a 7°C hasta su uso. Las muestras fueron sometidas a un tratamiento en un ultrasonido de alta intensidad tipo baño, usando una frecuencia de 40 kHz y 300 W, manteniendo una temperatura por debajo de 15°C, las muestras no tratadas (control), se mantuvieron en un baño de agua a la misma temperatura. Se realizaron pruebas de textura (TPA) y fuerza de gel, pérdidas por cocción, capacidad de retención de agua (CRA), mediciones RMN y microscopia electrónica de barrido. Los resultados mostraron que la muestra tratada a los 20 minutos con 1.5 % de sal obtuvo una similitud en sus propiedades texturales y CRA a las presentadas por las muestra no tratadas (2 % sal). Los análisis RMN mostraron que las estructuras de los geles sonicados a los 20 minutos se muestran más compactas y se observa una mayor proporción de agua atrapada que las muestras sonicadas a los 40 minutos, donde se obtuvo una mayor agregación de proteínas, así como cavidades. Lo que sugiere que el ultrasonido de alta intensidad es un proceso prometedor que puede mejorar las propiedades de los geles hechos a base de carne de pollo y permitiendo una reducción parcial en sus niveles de sal.

Chang *et al.* (2015) realizaron una investigación con el fin de observar el efecto del ultrasonido de alta intensidad sobre el contenido de colágeno en el tejido conectivo de carne de vacuno (*M. semitendinoso*). Se trataron las muestras cortadas en forma de filetes de 2.5 cm × 5 cm × 5 cm (longitud × alto × ancho, respectivamente) y de 100 g. de peso aproximadamente. El tratamiento se llevó a cabo en un ultrasonido tipo baño, manteniendo la temperatura constante a 20°C, manejando 40 kHz de frecuencia y una potencia de 1500 W. Se evaluó la pérdida de agua, contenido de colágeno, pérdidas por cocción, rendimiento exudativo y la ternura de la carne. Los resultados mostraron que el uso del ultrasonido de alta intensidad contribuye

al exudado de la carne y la pérdida de agua, además de reducir el esfuerzo al corte de la carne cuando las muestras fueron sometidas al ultrasonido durante 30 minutos, en comparación con la muestra control. El ultrasonido no tuvo efecto sobre las pérdidas por cocción, ni sobre el colágeno insoluble y se observó un pequeño efecto sobre el contenido de colágeno y la solubilidad. Se observaron células del músculo rotas y un aumento en los espacios extracelulares y en las cavidades intracelulares. Lo que sugiere que el US provoca cambios en las propiedades del colágeno lo que contribuye al ablandamiento de la carne.

II.SÍNTESIS DE ANTECEDENTES

Los embutidos como lo son las salchichas son de gran consumo a nivel mundial, sin embargo, su elaboración implica la adición de diversos aditivos, los cuales han sido asociados con diversas patologías, por lo que hoy en día ha crecido la demanda de los consumidores por adquirir productos cárnicos menos procesados, así como reducidos en aditivos. Se ha investigado el uso de tecnologías emergentes aplicadas a esta área como lo son las AP, por lo que estudios realizados han reportado que su aplicación en carne ayuda a reducir el contenido de aditivos como lo son los fosfatos en la elaboración de salchichas, así como lo estudiaron O'Flynn *et al.* (2014b) en carne fresca evaluando sus propiedades características y obteniendo reducciones en los niveles de fosfatos de salchichas elaboradas con carne tratada con AP de 5 % a un 2.5 %. Asimismo otra tecnología emergente que ha ido desarrollando su aplicación en la industria cárnica debido a que puede causar cambios físicos, químicos o funcionales, además de ser ambientalmente amigable es el ultrasonido de alta intensidad (Chemat *et al.*, 2011).

Estudios realizados cuyo objetivo fue obtener carne con mejores cualidades tecnológicas después de ser tratadas con US mostraron una influencia sobre la CRA, el pH, en la estructura de la proteína, así como en los parámetros texturales y de color. Investigaciones realizadas por Jayasooriya *et al.* (2007) mostraron que la aplicación de US en carne aumenta el pH de ésta y reduce su dureza, asimismo, Standnik *et al.* (2008) encontraron que la CRA de la carne se ve modificada con la aplicación del US, obteniendo valores más altos que en muestras no tratadas. Autores como Got *et al.* (1999) no encontraron una influencia clara del US sobre las propiedades de la carne. Por lo que los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones dependen de factores como la materia prima, el tiempo y temperatura de exposición, la frecuencia utilizada, así como el tipo de US, entre otros.

No obstante, la mayoría de éstos autores solo han evaluado el efecto del US en carne, sin embargo, no lo han aterrizado en la elaboración de un producto cárnico como las salchichas para reducir el contenido de aditivos, éste tipo de investigaciones se han realizado únicamente con AP. Ésto le da una área de oportunidad al presente trabajo, por lo que existe un interés de evaluar las propiedades fisicoquí-

micas de la carne de cerdo después de un tratamiento con un US tipo baño, para posteriormente elaborar un producto cárnico embutido reduciendo los niveles de adición de fosfatos durante su elaboración.

III.OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de ultrasonido de alta intensidad en carne fresca de cerdo como pre-tratamiento para modificar sus propiedades y emplear el menor porcentaje de fosfatos en el proceso de elaboración de una emulsión cárnica embutida durante la emulsificación.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del tratamiento de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne para determinar las variables del proceso (temperatura, tiempo, frecuencia y potencia de sonicación).
- Establecer la menor concentración de fosfatos y evaluar su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas de una emulsión cárnica embutida elaborada a partir de carne sometida a un tratamiento con ultrasonido.
- Evaluar la preferencia del consumidor mediante un análisis sensorial de las diferentes formulaciones.

IV.MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Plan de trabajo

En el presente trabajo se evaluó el efecto que causa el ultrasonido de alta intensidad en las propiedades de la carne fresca de cerdo, para posteriormente elaborar un producto cárnico reducido en aditivos, para ello se seleccionaron las mejores variables del proceso (temperatura, tiempo, frecuencia y potencia de sonicación), para esto se elaboró un plan de trabajo (Figura 4.1), en el cual se estableció la metodología con una sección preliminar y dos etapas. En la sección preliminar, se llevó a cabo la calibración del equipo de ultrasonido de baño, la puesta en marcha de los equipos y de las metodologías de caracterización de la carne, que consta de análisis fisicoquímicos e instrumentales, mientras que en la primer etapa, se realizó la selección de los parámetros del ultrasonido y se realizó un diseño de experimento para la aplicación del ultrasonido en la carne, posteriormente se realizó la caracterización de la carne con las metodologías establecidas con el fin de escoger las mejores condiciones de proceso. En la segunda etapa y previamente seleccionadas las mejores condiciones del US, se elaboraron salchichas con diferentes concentraciones de fosfatos (0, 2.5 y 5 %), ahí mismo se realizó la caracterización de la salchicha para seleccionar el mejor prototipo de ésta con una única concentración de fosfatos, y por último se realizó un análisis sensorial con un panel no entrenado.

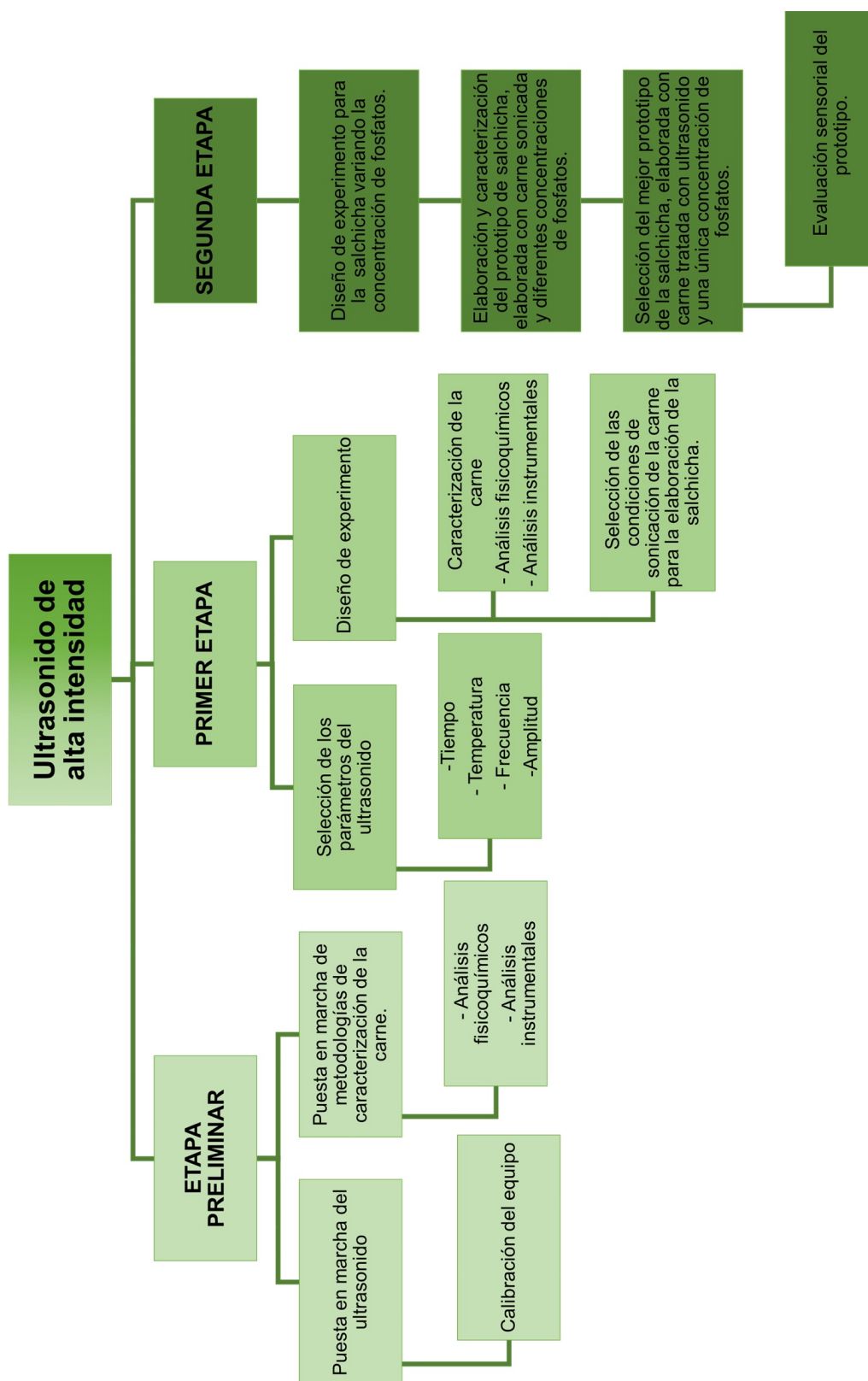


Figura 4.1. Plan de trabajo.

4.2. Etapa I. Tratamiento de carne con ultrasonido

4.2.1. Materia prima

Se utilizó como materia prima carne de cerdo (*Longissimus dorsi*), la cual fue adquirida en un negocio en el municipio de Puebla. La carne se limpió, retirando todo tipo de tejido conectivo y grasa que estuviera a la vista, la carne se cortó en cubos pequeños de aproximadamente $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ y se almacenó a 4°C , hasta su uso (Figura 4.2).

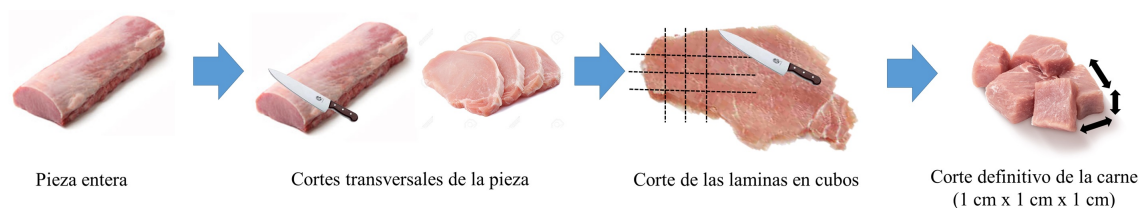


Figura 4.2. Preparación de la muestra de lomo de cerdo (*Longissimus dorsi*).

4.2.2. Ultrasonido

En la presente tesis se realizó la puesta en marcha del equipo de ultrasonido de alta intensidad, así como la aplicación del tratamiento en carne fresca de cerdo como se describe a continuación.

4.2.2.1. Análisis de calorimetría

La puesta en marcha del equipo de ultrasonido tipo baño implicó un análisis de calorimetría, éste se realizó conforme al método descrito por Ozuna *et al.* (2014). El análisis consistió en registrar los aumentos de temperatura del agua purificada en el baño de US cada 30 segundos durante 1 hora. Las condiciones a las que se realizaron la medición se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Condiciones del análisis calorimétrico.

Condiciones del solvente	
Densidad	1000 kg·m ⁻³
Calor específico	4180 J·(kg·°C) ⁻¹
Volumen empleado	0.004 m ³
Condiciones del ultrasonido	
Amplitud	100 %
Frecuencia	37 kHz
Pulso	Intermitente

Se eligieron 11 puntos estratégicos del baño de ultrasonido (Figura 4.3) para medir los aumentos de temperatura. El termómetro se introdujo en el solvente aproximadamente a 50 mm antes de tocar la base del ultrasonido. A partir de la pendiente obtenida de la curva del incremento de la temperatura contra el tiempo se estimó la potencia ultrasónica promedio en el medio.

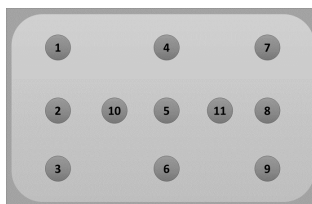


Figura 4.3. Puntos de medición del US.

La potencia real entregada al medio se calculó con la Ecuación 4.1.

$$P = M * Cp * \frac{dT}{dt} \quad (4.1)$$

donde

P =Potencia ultrasónica (W)

M =Masa de la muestra (kg)

C_p =Capacidad calorífica del medio [$J \cdot (kg \cdot ^\circ C)^{-1}$]

dT/dt =El aumento de la temperatura (pendiente de la curva temperatura-tiempo)

4.2.2.2. Tratamiento con ultrasonido en carne

El tratamiento con ultrasonido de las muestras de carne fresca se llevó a cabo en un procesador de ultrasonido de baño (Elmasonic P 70 H Multi-frecuencia) acoplado a un recirculador (Figura 4.4) para controlar la temperatura durante el proceso, las condiciones del tratamiento se dieron a una frecuencia de 37 kHz y una potencia de salida de 820 W.

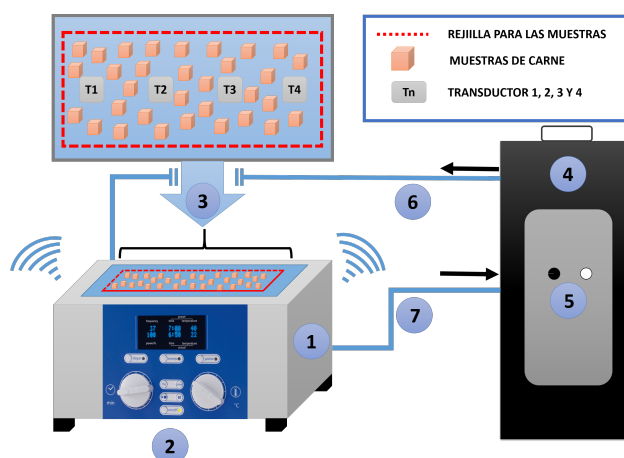


Figura 4.4. Diagrama de ultrasonido de potencia. 1. Salida de agua del US, 2. Baño de US, 3. Materia prima, 4. Recirculador, 5. Salida de agua del recirculador, 6. Entrada de agua al US, 7. Entrada de agua al recirculador.

Las muestras fueron inmersas en agua purificada y colocadas en una rejilla, para mantener las muestras lo más cercanas al área donde emiten señal los transductores del ultrasonido. Los tratamientos se realizaron por triplicado. Las muestras usadas como control fueron inmersas en agua purificada con agitación constante a las mismas temperaturas y tiempos de tratamiento de las muestras tratadas con US como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Tratamientos de la muestra de carne fresca, con y sin aplicación de US.

Tiempos (min)	Temperaturas (°C)		
60	40	30	20
30	40	30	20
6	40	30	20

4.2.3. Análisis fisicoquímicos e instrumentales

Para la caracterización de las muestras de carne fresca de cerdo se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos e instrumentales que se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Análisis fisicoquímicos e instrumentales.

Análisis fisicoquímicos	Análisis instrumentales
Capacidad de retención de agua	Color
pH	Textura
Humedad	
Proteína	
Perdidas por cocción	
Rendimiento exudativo	

4.2.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se analizaron las muestras utilizando el método de Hughes *et al.* (1997). Se pesaron 10 g de muestra y fueron colocados en un tubo centrifuga de 50 ml, la muestra fue calentada por 10 minutos en un baño de agua a $90 \pm 1^\circ \text{C}$. Transcurrido el tiempo, las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente ($25 \pm 1^\circ \text{C}$) y se centrifugaron (Centrifuga refrigerada Universal 320 R, Hettich Lab, Alemania) por 40 minutos a $2700 \times g$ y $4 \pm 1^\circ \text{C}$. El sobrenadante fue eliminado y el porcentaje de CRA fue calculado con la Ecuación 4.2. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$CRA = \left(1 - \frac{B - A}{M}\right) * 100 \quad (4.2)$$

donde:

B=Peso de la muestra antes de calentarse y centrifugarse.

A=Peso de la muestra después de calentarse y centrifugarse.

M=Humedad en la muestra.

4.2.3.2. pH

El análisis de pH de las muestras se realizó con el método de Karakaya *et al.* (2005). Se pesaron 10 g de muestra y se homogeneizaron con 100 ml de agua destilada durante 3 minutos en una licuadora (Oster, mod. 006831-013-000), después se midió el pH, usando un potenciómetro (pH / mv meter, Ultra Basic Denver Instrument). Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

4.2.3.3. Humedad (H)

El contenido de humedad en las muestras fueron determinadas por el método de 950.46 AOAC (1997a). Se pesaron 3 g de muestra y se colocaron en cápsulas de aluminio, posteriormente fueron secadas a una temperatura de $105 \pm 1^\circ\text{C}$ en un horno de secado (RF – 53 UL, Red line, Alemania) durante 24 horas, después las muestras fueron colocadas en un desecador durante 20 minutos, y se registró su peso nuevamente. El contenido de humedad en la muestra se determinó mediante la Ecuación 4.3. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\%Humedad = \frac{M_2 - M_1}{M} * 100 \quad (4.3)$$

donde:

M_2 =Peso de la cápsula con la muestra fresca.

M_1 =Peso de la cápsula con la muestra seca.

M=Peso de la muestra.

4.2.3.4. Proteína

La determinación del contenido de proteína total de las muestras se llevó a cabo mediante el método 981.10 AOAC (1997b). En la primer parte del análisis se llevó a cabo la digestión de la muestra, esto se hizo pesando 0.5 g de muestra aproximadamente sobre papel filtro, posteriormente este se enrolló para evitar pérdidas de la muestra y se colocó en el tubo digestor. Al tubo se le añadió 3.5 g de catalizador (3.5 g K_2SO_4 y 0.035 g Se) y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), posteriormente se comenzó a calentar subiendo la temperatura gradualmente, hasta alcanzar $400^{\circ}C$ aproximadamente y alcanzar un cambio en el color de la muestra a un amarillo claro, para eso se llevó un tiempo aproximado de 3.5 horas. Se esperó a que la muestra se enfriara durante 15 minutos, para seguir con la etapa de neutralización de la muestra, para esto, se le añadió cuidadosamente al tubo digestor 30 ml de NaOH al 40 % y 10 ml más de agua destilada. Se continuó con la etapa de destilación para determinar el contenido total de nitrógeno de la muestra, esto se realizó en un micro destilador kjeldahl (Sevmexico, Mod. DEK-1), colocando el tubo digestor en el equipo, asimismo, se preparó un matraz Erlenmeyer de 500 ml, al cual se le añadió 10 ml de solución de ácido bórico al 4 % (H_3BO_3) y 5 gotas de indicador rojo de metilo, obteniéndose una mezcla de un color rosa fuerte. Después se conectó el matraz Erlenmeyer al otro lado del destilador cuidando que la punta de la manguera quedara inmersa en la solución, se prosiguió a realizar la destilación durante 10 minutos aproximadamente hasta recuperar 100-150 ml en el matraz erlenmeyer y el color de la solución cambiara a amarillo. Entonces se desechó la solución del matraz digestor y se prosiguió a la última parte del método que es la titulación. La solución contenida en el matraz erlenmeyer se tituló con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N valorada, hasta ver el cambio del color amarillo de la solución a un color rosa fuerte nuevamente. La determinación de proteína total en base seca se realizó con la Ecuación 4.4. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\%P.B.S = \frac{V_{HCl}(ml) * N_{HCl}(\frac{meq}{ml}) * 0.014(\frac{g}{meq}) * 100}{m(g)} \quad (4.4)$$

donde:

%P.B.S.= Proteína en base seca.

V_{HCl} =Volumen de HCl 0.1 N gastado en la titulación.

N_{HCl} =Normalidad del HCl.

6.25= Factor de conversión para carne.

0.014=miliequivalentes del nitrógeno.

m =peso de la muestra empleada en el análisis.

Posteriormente se realizó la determinación de sólidos totales (ST) como de describe la (AOAC, 1997c), para poder determinar el contenido de proteína en base húmeda. La determinación consistió en pesar 3 g de muestra homogeneizada en una capsula de aluminio a peso constante a $38 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas en un horno de secado (RF – 53 UL, Red line, Alemania), posteriormente las capsulas fueron llevadas a un desecador a temperatura ambiente ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) durante 20 minutos. La determinación de los ST se realizó con la Ecuación 4.5.

$$\%ST = \left[\frac{(P_1 - P_0)}{M} \right] * 100 \quad (4.5)$$

donde

P_0 =Peso de la capsula a peso constante (g).

P_1 =Peso de la capsula + peso de la muestra (g).

M =Peso de la muestra (g).

Con la determinación del contenido de %ST, se realizó el cálculo del contenido de proteína en base húmeda con la Ecuación 4.6.

$$P.B.H. = \left[\frac{(\%PBS * \%ST)}{100} \right] \quad (4.6)$$

4.2.3.5. Pérdidas por cocción (PPC)

El análisis de las pérdidas por cocción de las muestras, fue determinado mediante el método de Yu *et al.* (2008). Las muestras se usaron en forma de placas planas de $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ (longitud $\times$ alto $\times$ ancho) y de 2 g de peso aproximadamente. Éstas se calentaron en un baño de agua a $80 \pm 1^\circ\text{C}$, manteniendo la temperatura in-

terna de las muestras a $75 \pm 1^\circ\text{C}$ durante un tiempo de 20 minutos. Después éstas se dejaron enfriar a temperatura ambiente ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), se limpiaron los exudados con una toalla de papel y se pesó la muestra. Las pérdidas por cocción se determinaron mediante la Ecuación 4.7. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\%PPC = \frac{M_2 - M_1}{M_2} * 100 \quad (4.7)$$

Donde:

M_2 =Peso de la muestra antes de calentar.

M_1 =Peso de la muestra después de calentar.

4.2.3.6. Rendimiento exudativo (RE)

La determinación del rendimiento exudativo de las muestras, se analizó mediante el método descrito por Chang *et al.* (2015). Las muestras fueron pesadas antes y después del tratamiento con ultrasonido. El rendimiento exudativo se determinó mediante la Ecuación 4.8. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\%RE = \frac{M_2 - M_1}{M_2} * 100 \quad (4.8)$$

donde:

M_2 =Peso de la muestra antes del tratamiento con US

M_1 =Peso de la muestra después del tratamiento con US

4.2.3.7. Color

Para determinar el color de las muestras, se utilizó un colorímetro Hunter Lab L*, a^* , b^* (45 / 0, D65, 10° , Color Flex EZ, USA), llevando acabo el análisis mediante el método descrito por Savadkoobi *et al.* (2013), donde se midió la superficie de la muestra. Las luminosidad L^* , las coordenadas de color a^* y b^* , así como las diferencias de color (ΔE) (Ecuación 4.9), el croma (C^*)(Ecuación 4.10) y el tono (h°) (Ecuación 4.11) fueron determinados. Todas las determinaciones se realizaron por

triplicado.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4.9)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4.10)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4.11)$$

4.2.3.8. Textura

El análisis de textura se realizó para las muestras de carne fresca de cerdo y para las salchichas. Se realizaron análisis de perfil de textura (TPA) con ayuda de un texturómetro (TA – XT2i, Stable Micro System, Surrey, England) de acuerdo al método descrito por Honikel (1998). Para el análisis en carne fresca (sonicada y control) se usaron muestras de 1 cm × 1 cm × 1 cm (longitud × alto × ancho), éstas fueron colocadas en la base del texturómetro, las muestras fueron comprimidas con una sonda cilíndrica de 2.5 cm de diámetro, con una celda de carga de 25 kg, al 50 % de su peso original a una velocidad constante de 1 mm·s⁻¹, velocidad de preensayo de 1 mm·s⁻¹, velocidad de ensayo de 5 mm·s⁻¹, velocidad de postensayo de 5 mm·s⁻¹. Para el análisis en salchichas (elaborada con carne sometida a US y control), las muestras fueron cortadas en rodajas de 1 cm de espesor y 5 cm de diámetro, se dejaron reposar por 1 hora a temperatura ambiente (25 ± 1°C) dentro de una bolsa de polietileno para evitar la pérdida de humedad. Éstas fueron colocadas horizontalmente en la celda, el procedimiento y las condiciones del proceso fueron las mismas que en carne. Los parámetros de perfil de textura medidos en ambos análisis fueron la dureza (N), elasticidad (%), gomosidad (N), cohesividad (%), adhesividad (N·mm) y masticabilidad (N). Estos parámetros son determinados mediante la programación del TPA en el equipo. Únicamente para las salchichas se realizó la prueba de firmeza con ayuda de una navaja Warner-Bratzler de 3 mm de espesor en forma de V, acoplada al analizador de textura como lo describe el método utilizado por Caine *et al.* (2003), las muestras fueron colocadas en la base de la celda. La navaja descendió verticalmente hasta lograr la completa penetración de la muestra. Se evaluó la firmeza al corte empleando una velocidad de prueba de 1 mm·s⁻¹

y velocidad de retroceso de $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ con una celda de carga de 25 kg. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

4.3. Etapa II. Reducción de fosfatos en la salchicha

4.3.1. Elaboración de la salchicha

Las salchichas fueron elaboradas en el laboratorio de cárnicos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla como lo describe la Norma Oficial Mexicana (NOM-122-SSA1-1994). Para ello se elaboraron seis lotes de salchichas (SF5: 5 % fosfatos; SF2.5; 2.5 % fosfatos; SF0: 0 % fosfatos), cada uno con distinto contenido de fosfato en su formulación, en los cuales se utilizó como materia prima lomo de cerdo (*lumbar longissimus*), y la formulación utilizada por cada kilogramo de producto terminado se muestra en la Tabla 4.4, y fue la misma para las salchichas elaboradas con carne sometida a un tratamiento con US (SUS) y para las salchichas control (SC).

Tabla 4.4. Formulación utilizada en la elaboración de las salchichas.

	SF5	SF2.5	SF0
Ingredientes	Cantidad añadida (g)	Cantidad añadida (g)	Cantidad añadida (g)
Carne	500	500	500
Grasa	300	300	300
Hielo	200	200	200
Total	1000	1000	1000
Fosfato	5	2.5	0
Sal	15	15	15
Nitritos	0.156	0.156	0.156

El procedimiento utilizado para elaborar las salchichas se muestran en la Figura 4.5.

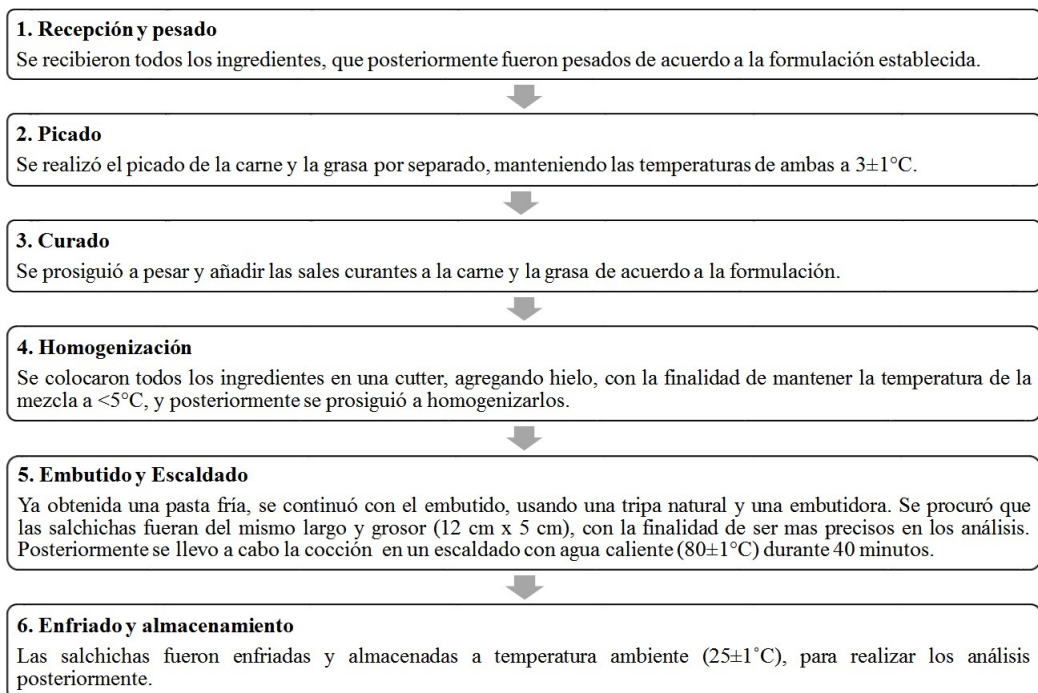


Figura 4.5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de las SUS y SC.

4.3.2. Análisis fisicoquímicos e instrumentales

Se realizaron análisis fisicoquímicos con la finalidad de caracterizar a la salchichas los cuales fueron la CRA, pH, humedad y proteína, asimismo los análisis instrumentales realizados fueron color y la textura. Éstos análisis fueron realizados como se describe en el apartado 4.2.3.

4.3.3. Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó en salchichas elaboradas con carne de cerdo elaboradas o no con fosfatos en diferentes niveles (0, 2.5 y 5 %) en una escala hedónica estructurada con 9 puntos (9=me gusta muchísimo, 1= me disgusta muchísimo), siguiendo el método descrito por Manfugás (2007). Una vez elaboradas las salchichas se procedió a partirlas en rodajas de aproximadamente 1 cm de grosor y 3 g de peso aproximadamente, éstas fueron calentadas en un sartén durante 3 minutos a $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$, posteriormente se dejó enfriar hasta $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ para su evaluación. La evaluación sensorial se realizó con ayuda de un panel no entrenado, conformado por

estudiantes y maestros de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, cuyas edades oscilaron entre los 18 y 60 años. La evaluación se llevó a cabo en un cuarto iluminado, con ventilación y limpio. Las muestras a evaluar se colocaron individualmente en platos de plástico, se cortaron trozos de pan y se colocaron vasos de agua, para que cada evaluador comiera el pan y bebiera el agua entre cada muestra que se les solicitó evaluar. A cada panelista se le proporcionó una hoja de evaluación para anotar sus preferencias y observaciones (Ver Anexo I).

4.4. Análisis estadístico y modelación

4.4.1. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de caras centradas como se muestra en la Figura 4.6 con cuatro puntos factoriales (1, 2, 3 y 4), cuatro puntos axiales (5, 6, 7 y 8) y un punto central (9), el cual se utilizó para observar el efecto de la temperatura (X_1) y el tiempo (X_2) sobre las variables respuesta. Los puntos factoriales permiten estimar las interacciones de los dos factores, simultáneamente los puntos centrales y axiales permiten evaluar los términos lineal y cuadráticos (curvatura).

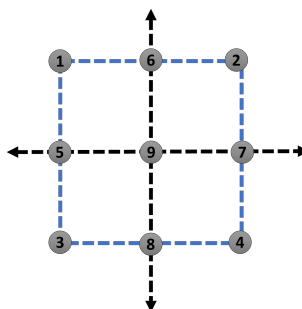


Figura 4.6. Diseño de caras centradas con cuatro puntos factoriales, cuatro puntos axiales y un punto central.

Basados en referencias bibliográficas similares al presente trabajo, se eligió usar tres temperaturas distintas en el tratamiento (20, 30 y 40°C), asimismo, se emplearon tres tiempos diferentes para los tratamientos (6, 30 y 60 minutos). Los datos mostrados en la Tabla 4.5 corresponden a las combinaciones de estos dos factores, y están codificados como -1 (bajo), 0 (intermedio) y 1 (alto), añadiendo el factor Z,

que corresponde al tratamiento, siendo este igual a 1, si existe aplicación del US o 0 si no existe aplicación del US. Los tratamientos se realizaron por triplicado.

Tabla 4.5. Diseño de experimento: Etapa I.

X_1	X_2	Z
-1	-1	0
-1	+1	0
+1	-1	0
+1	+1	0
-1	0	0
+1	0	0
0	-1	0
0	1	0
0	0	0
-1	-1	1
-1	+1	1
+1	-1	1
+1	+1	1
-1	0	1
+1	0	1
0	-1	1
0	1	1
0	0	1

4.4.2. Modelación y optimización

Se realizó un modelo de segundo orden, que constaba originalmente de 6 términos (Ecuación 4.12), sin embargo, al incluir el efecto del ultrasonido (Ecuación 4.13) en cada uno de los términos, el modelo final constó de 12 parámetros (Ecuación 4.14). Donde los primeros 6 términos de la ecuación representan el modelo lineal,

los siguientes dos términos, representan los efectos sinérgicos o antagónicos de las interacciones dobles, y los últimos dos parámetros representan los efectos cuadráticos del modelo.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (4.12)$$

si

$$b_{ij} = Y_{ij} + Y_{ij}Z \quad (4.13)$$

sustituyendo en la Ecuación 4.12.

$$Y = Y_{00} + Y_{00}Z + Y_{01}X_1 + Y_{01}X_1Z + Y_{02}X_2 + Y_{02}X_2Z + Y_{12}X_1X_2 + Y_{12}X_1X_2Z + Y_{11}X_1^2 + Y_{11}X_1^2Z + Y_{22}X_2^2 + Y_{22}X_2^2Z \quad (4.14)$$

Se utilizó la paquetería Microsoft Excel para evaluar el modelo propuesto, donde se obtuvieron los coeficientes de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}), así como la significancia de las variables. Posteriormente para realizar la modelación de la variables del proceso se utilizó el software MatLab® 7.1 SP3 (The Math Works, Inc., Natick, MA, USA), las cuales fueron evaluadas por medio de una superficie de respuesta, utilizando como factores codificados la temperatura, el tiempo de sonicación y el tratamiento.

Obtenidas las gráficas de superficie de respuesta, se elaboró una hoja de cálculo en Excel donde se introdujo el modelo propuesto y con herramienta *solver* se buscó optimizar las respuestas de interés moviendo las variables temperatura y tiempo, así fueron seleccionadas las condiciones del US con los que se llevó cabo la Etapa II del presente trabajo.

4.4.3. Análisis estadístico

Los experimentos realizados en este trabajo fueron realizados por triplicado y cada dato fue reportado con su valor promedio $\pm$ desviación estándar. Los datos obte-

nidos se analizaron con ayuda del programa STATGRAPHICS Centurión XVI (tecnologías StatPoint, Inc, VA 20186, USA) y las diferencias entre las medias se determinaron usando una prueba LSD (Least Significant Difference) con un nivel de confianza del 95 %.

V.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Determinación de las variables del tratamiento con US en carne fresca de cerdo

5.1.1. Análisis de calorimetría

El análisis de la calorimetría del ultrasonido de baño se llevó a cabo manejando una amplitud del 100 % a 37 kHz de frecuencia con un pulso continuo. Se obtuvo la pendiente de la relación entre la temperatura contra el tiempo para determinar la potencia real entregada en el medio (Ver Anexo II). Dicha potencia se calculó con la Ecuación 3.4 (Apartado 4.4.2) donde la densidad del medio es de $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, el CP es de $4180 \text{ J}\cdot(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1}$. La potencia de salida del US en el equipo se especifica en 820 W, siendo la energía real entregada de 127.27 W.

Se realizó el análisis de calorimetría al tiempo máximo de sonicación utilizado en los experimentos (60 minutos), las gráficas obtenidas se presentan en el Anexo II.

5.1.2. Obtención y caracterización de los parámetros del modelo

El diseño de experimentos se realizó para evaluar la significancia del modelo de cada una de las variables utilizadas en el proceso sobre las respuestas mostradas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Variables respuesta.

Nomenclatura	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
Respuesta	CRA	pH	H	Proteína	PPC	RE	L^*	a^*	b^*	h°	ΔE	C^*	Dz

Por un lado se obtuvo el coeficiente de determinación (R^2) del modelo para cada respuesta (Tabla 5.2) mostrando solamente dos de las variables (RE y PPC) valores por arriba de 0.7, lo que representa que el modelo propuesto se ajustó bien a la respuesta, sin embargo, aquellas variables cuya R^2 fue menor a 0.7 significó que se

obtuvo un ajuste pobre del modelo y que pocos fueron los efectos significativos de las variables sobre la respuesta.

Tabla 5.2. Coeficientes de determinación de los modelos de regresión propuestos.

Respuesta	R^2	Respuesta	R^2
Y_1	0.419	Y_7	0.460
Y_2	0.494	Y_8	0.569
Y_3	0.418	Y_9	0.377
Y_4	0.646	Y_{10}	0.544
Y_5	0.730	Y_{11}	0.262
Y_6	0.914	Y_{12}	0.375
		Y_{13}	0.572

Por otro lado, la Tabla 5.3 muestra los coeficientes obtenidos mediante un análisis de regresión. Los coeficientes que tienen un signo negativo representan el efecto antagónico de las variables, mientras que los que tienen signo positivo representan el efecto sinérgicos de los mismos.

Tabla 5.3. Coeficientes de regresión del modelo de segundo orden.

TERMINOLOGÍA	PARÁMETROS	RESPUESTAS												
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃
Y ₁		97.817	5.408	70.872	20.936	41.798	13.143	43.670	3.044	9.987	73.699	0.448	10.479	225.827
Y ₂	Z	1.039	0.303	-0.036	-1.750	10.105	-1.906	-0.207	-1.367	-1.455	5.288	0.364	-1.762	-79.539
Y ₃	X ₁	0.501	-0.072	-0.376	1.080	-5.205	4.520	0.785	-0.299	-0.282	1.460	0.007	-0.313	27.603
Y ₄	X ₁ Z	-0.244	-0.097	-0.830	0.071	-0.359	-1.911	0.595	-0.048	0.287	0.824	-0.077	0.267	-11.793
Y ₅	X ₂	-0.158	-0.013	1.205	0.038	1.004	4.129	2.462	-0.551	0.022	2.747	-0.101	-0.091	50.877
Y ₆	X ₂ Z	0.131	0.169	-0.608	-0.596	0.015	-0.513	0.088	0.706	0.370	-3.635	0.122	0.514	-8.857
Y ₇	X ₁ X ₂	0.255	0.031	-2.342	-0.203	-2.432	3.688	0.925	0.148	0.483	-1.236	0.279	0.506	3.114
Y ₈	X ₁ X ₂ Z	-0.154	-0.133	1.999	0.364	-1.370	-4.504	-0.410	-0.211	-0.071	1.782	-0.534	-0.109	0.929
Y ₉	X ₁ ²	0.053	0.073	0.337	-1.420	4.995	-1.224	0.001	-2.140	-1.502	9.991	0.129	-1.926	16.103
Y ₁₀	X ₁ ² Z	-0.569	-0.072	0.710	0.255	-8.491	-0.322	-0.533	1.762	1.597	-7.466	-0.222	1.964	-14.952
Y ₁₁	X ₂ ²	0.263	0.101	-1.674	0.179	-1.282	4.488	-0.102	-0.037	-0.364	-0.139	0.340	-0.347	-9.898
Y ₁₂	X ₂ ² Z	0.127	-0.087	1.502	1.192	-0.905	-4.286	0.130	-0.237	0.359	1.975	-0.502	0.294	18.243

Las letras en negritas indican coeficientes estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

Para la respuesta Y_1 el término independiente fue significativo, se observa que existe un efecto sobre la respuesta dado por el tratamiento, es decir por el efecto del US y también por la temperatura. El parámetros significativo obtenido en la respuesta Y_2 fue el término independiente, observando también un efecto del el US, así como la interacción entre las variables tiempo-US. En cuanto a la respuesta Y_3 , el término independiente y la temperatura, la interacción entre las variables temperatura-tiempo en el proceso tienen un efecto sobre esta.

Para la respuesta Y_4 los parámetros que tuvieron significancia sobre la respuesta fue el término independiente, la temperatura, el tratamiento y el parámetro cuadrático de la temperatura. El término independiente, el tratamiento de US, la variable la temperatura, así como la interacción que existe entre temperatura-tiempo, el término cuadrático de temperatura y el de temperatura- US, tienen un efecto significativo sobre la respuesta Y_5 .

Para Y_6 se observa que existe un efecto por término independiente, además de la temperatura, la interacción temperatura-US, así como también del tiempo, la interacción de la temperatura-tiempo, la interacción de las tres variables temperatura-tiempo-US, asimismo el término cuadrático del tiempo y del término cuadrático tiempo-US, sobre la respuesta. Los factores que tienen efecto sobre el parámetro Y_7 , son únicamente dos, el término independiente y el tiempo del proceso.

Para Y_8 , el término independiente, así como el tratamiento de US, el tiempo usado en el proceso, la interacción entre el tiempo-US, una interacción cuadrática de temperatura y nuevamente una interacción entre las variables temperatura-US son los factores que tienen efecto sobre esa respuesta. Los factores que afectan la respuesta Y_9 son el término independiente, el US, el efecto cuadrático también existió entre la temperatura y de la interacción entre temperatura-US. Por otro lado, para la respuesta Y_{10} , el término independiente, el tiempo, la interacción entre tiempo-US, así como una interacción cuadrática de la temperatura y de las variables temperatura-US son los factores que tienen un efecto significativo sobre ella. La interacción entre las tres variables tiempo-temperatura-US es el único factor que afecta la respuesta Y_{11} .

En Y_{12} los efectos significativos de esta respuesta fueron el US y la interacción cuadrática de la temperatura. Por último para Y_{13} , el término independiente, el efecto del US, el efecto cuadrático de la temperatura y de la temperatura-US fueron efectos significativos para esta respuesta.

5.1.3. Caracterización de la carne fresca de cerdo sometida a US

Se realizó la caracterización de la carne fresca de cerdo con la finalidad de evaluar la influencia del ultrasonido en las propiedades funcionales de ésta, buscando elegir las condiciones adecuadas del proceso para mejorar sus propiedades como la CRA, el RE, aumentar el pH, evitar cambios o pérdidas de humedad, evaluar el color y textura, así como el contenido proteico de las muestras. Los resultados de CRA, humedad y proteína mostrados en este capítulo son expresados en base húmeda.

5.1.3.1. Capacidad de retención de agua

Los resultados obtenidos en los experimentos de la CRA durante los tres diferentes tiempos y temperaturas de aplicación de ultrasonido en la carne y en los controles, se presentan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Valores de la CRA en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Control	US
6	20	97.910 ± 0.906 ^a	98.526 ± 0.890 ^a
6	30	98.454 ± 0.0626 ^a	99.793 ± 0.183 ^a
6	40	98.464 ± 0.431 ^a	98.466 ± 0.677 ^a
30	20	97.633 ± 1.007 ^a	97.956 ± 0.160 ^a
30	30	97.416 ± 0.618 ^a	98.363 ± 1.288 ^a
30	40	98.513 ± 0.279 ^a	99.216 ± 0.462 ^a
60	20	97.093 ± 0.025 ^a	98.543 ± 611 ^b
60	30	98.116 ± 0.466 ^a	99.193 ± 1.037 ^a
60	40	98.666 ± 1.135 ^a	98.887 ± 652 ^a

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

En la Tabla anterior se puede observar que los valores de la CRA en las muestras obtenidas para todos los tiempos (6, 30 y 60 minutos) y temperaturas de tratamiento

(20, 30 y 40°C), fueron altos en ambos tratamientos, aunque los valores no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las muestras tratadas con US y las control, excepto a 60 minutos y 20°C, estos siempre fueron mayores en las muestras que se sometieron a un tratamiento con US. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Siró *et al.* (2009) quienes trataron carne de cerdo (*Longissimus dorsi*) con US tipo sonda a una temperatura constante de 5°C, manejando 20 kHz de frecuencia, a una potencia de 100 W y una intensidad de 2, 2.5, 3, 3.5 y 4 W·cm⁻² durante 30, 60 y 180 minutos, concluyendo que el US no causó efecto alguno sobre las muestras aún a diferentes intensidades y tiempos con respecto a sus muestras control, atribuyéndolo a que el proceso utilizado en sus muestras causó una unión débil del agua, además de que el tratamiento se realizó en un baño de agua refrigerada lo que limitó la desnaturalización de las proteínas. Estos resultados también concuerdan con los obtenidos por Jayasooriya *et al.* (2007) quienes trataron muestras de carne de cerdo (*Longissimus lumbar* y *torácico* y *m. semitendinoso*) con US tipo sonda a 24 kHz y una potencia de 12 W·cm⁻² en diferentes períodos de tiempo (0, 30 60, 120 y 240 seg) a una temperatura de 15-30°C, notando que el tratamiento con US no afectó significativamente ($p > 0.05$) las pérdidas de agua de la muestra con respecto a los controles. Los autores sugirieron que el daño a la estructura muscular causado por ultrasonido no afectó los mecanismos de migración de la humedad en la carne. Pohlman *et al.* (1997) sometieron a un tratamiento con US carne de vacuno a 20 kHz y 22 W·cm⁻², durante un tiempo de 0, 5 y 10 minutos observando que el tratamiento con ultrasonido no afectó la CRA de las muestras, atribuyéndolo a que las muestras fueron tratadas en un baño de agua refrigerada, lo que limitaría la calefacción y evita la desnaturalización térmica de proteínas y la consiguiente pérdida de la CRA.

Las muestras sometidas a un tratamiento de US, presentaron un ligero aumento no significativo ($p > 0.05$) en sus valores con respecto a las muestras control, sin embargo, a ciertas condiciones del tratamiento (60 minutos, 20°C) el cambio en la CRA fue significativo ($p < 0.05$), esto debido a que los tejidos de la carne se estresan mecánicamente debido al tratamiento, lo que provoca una mayor retención del agua.

Autores como Standnik *et al.* (2008) observaron cambios en la CRA durante el tiempo de envejecimiento de la carne (24, 48, 72 y 96 h) al tratar carne de vacuno (*M. semimembranoso*) con US a un tiempo corto de 2 minutos a 45 kHz y una intensidad de 2 W·cm⁻² con temperatura constante de 4°C, usando dos tipos de muestra,

carne en trozo (presionada longitudinal y transversalmente) y carne picada. Los resultados para la carne en trozo, muestran que la CRA para las muestras evaluadas transversalmente solo es significativamente mayor ($p < 0.05$) que el control después de 72 hrs de almacenamiento, mientras que para las muestras evaluadas longitudinalmente la CRA de estas nunca fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que las muestras control. Al evaluar las muestras de carne picada, no observaron aumento en la CRA de las muestras sometidas a US durante ningún periodo de envejecimiento. Los aumentos de la CRA obtenidos en las muestras sonicadas después de 72 hrs lo atribuyeron a que el tratamiento con US aceleró el rigor mortis seguido por una fragmentación de las estructuras celulares de las proteínas.

La Figura 5.1 muestra la superficie de respuesta obtenida con el modelo de segundo orden propuesto, en donde se observa que durante los tres tiempos de tratamiento y a tiempos de exposición cortos y no tan largos con US se tienen valores de CRA más altas que sin el tratamiento.

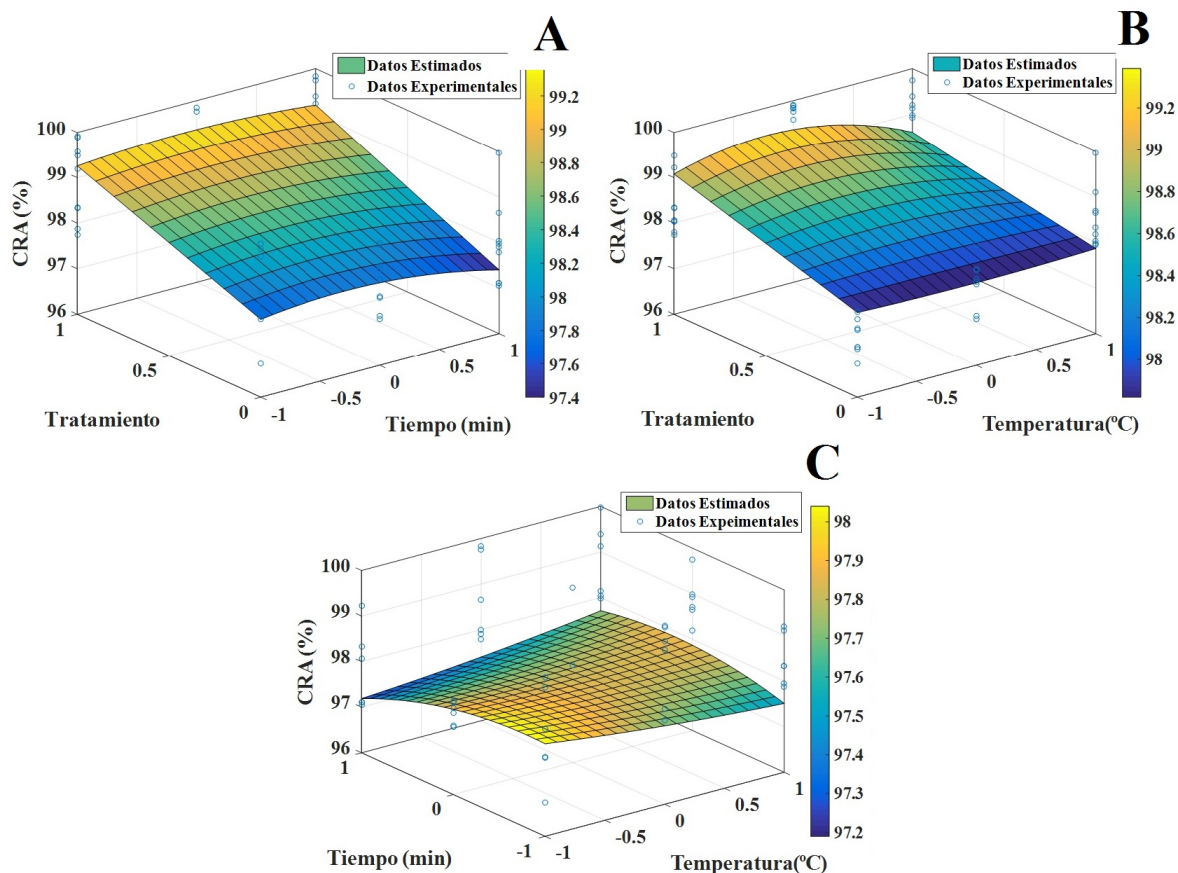


Figura 5.1. Superficie de respuesta de la CRA de las muestras. A) Relación Tratamiento/tiempo (min)

El ajuste entre los datos estimados y los experimentales se muestran en la Figura 5.2, el coeficiente de correlación R^2 para los datos experimentales fue de 0.419 y el coeficiente de correlación ajustado Raj fue de 0.267, lo que indica que se obtuvo un ajuste pobre del modelo debido a los pocos efectos significativos que tuvo el US sobre la respuesta, ya que para que este sea adecuado el valor de estos dos coeficientes debe ser cercano.

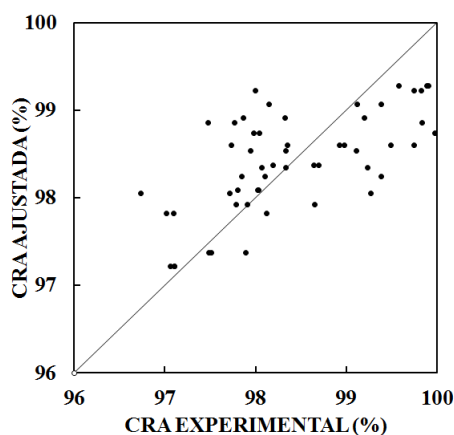


Figura 5.2. CRA experimental y ajustada para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.

5.1.3.2. pH

La CRA está directamente relacionada con el pH ya que a mayor valor de éste la CRA de la carne aumenta, esto no se cumple del todo en esta investigación. Las mediciones del pH durante tres diferentes tiempos y temperaturas de ultrasonido y de las muestras control como se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Valores de pH en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Control	US
6	20	5.740 ± 0.156 ^a	5.706 ± 0.167 ^a
6	30	5.506 ± 0.098 ^a	5.523 ± 0.124 ^a
6	40	5.466 ± 0.133 ^a	5.483 ± 0.110 ^a
30	20	5.470 ± 0.208 ^a	5.853 ± 0.200 ^a
30	30	5.436 ± 0.031 ^a	5.590 ± 0.175 ^a
30	40	5.463 ± 0.005 ^a	5.693 ± 0.352 ^a
60	20	5.650 ± 0.363 ^a	6.113 ± 0.254 ^a
60	30	5.483 ± 0.015 ^a	6.050 ± 0.467 ^a
60	40	5.500 ± 0.000 ^a	5.480 ± 0.006 ^b

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Los resultados de la Tabla anterior muestran que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las muestras a las que se le aplicó un tratamiento con US y las control en las tres temperaturas diferentes durante los 6 y 30 minutos, sin embargo, el pH de las muestras tratadas con US aumenta ligeramente en la mayoría de los casos, pero ambos valores se mantienen en un pH óptimo para la carne.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Dolatowski *et al.* (2000) y Standnik *et al.* (2008), quienes sometieron muestras de carne vacuno (*M. semimembranoso*) con un ultrasonido a 25 kHz y 45 kHz de frecuencia respectivamente, intensidad de $2 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, durante 2 minutos de aplicación a una temperatura constante de 4°C. Los resultados mostraron que no existieron cambios significativos ($p > 0.05$) en los valores de pH de la carne después del tratamiento comparado con las muestras control en ninguno de los dos estudios.

Observaciones similares fueron presentadas por Gambuteanu *et al.* (2013) quienes usaron un US tipo baño a 25 kHz y dos intensidades 0.2 y $0.4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ a una temperatura de 15°C, para tratar muestras de carne de cerdo (*Longissimus dorsi*) y no observó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las muestras sometidas al US y

las control.

Además, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) del pH de la carne a 60 minutos y 40°C ($p < 0.05$), resultados que concuerdan con los obtenidos por Jayasooriya *et al.* (2007) quienes notaron un aumento significativo ($p < 0.05$) de las muestras sometidas a un tratamiento con US con respecto a las muestras no tratadas. Esto debido a que el efecto de la alta frecuencia causa un daño a la estructura celular provocando la liberación de iones en el citosol, además del efecto de calor provocado por el aumento de la temperatura. Got *et al.* (1999) observaron nuevamente un aumento en los valores del pH de muestras sometidas a US respecto a las muestras control, atribuyendo éste aumento a un cambio en la estructura de la proteína lo que llevó a una modificación en la posición de algunos grupos iónicos, haciéndolos disponibles para participar en el amortiguamiento del músculo.

La CRA está relacionada directamente con el pH, ya que a mayor valor de pH de la carne la CRA será alta, esto se cumple en el presente trabajo únicamente al tener una media de todos los valores obtenidos del pH comparando los tratamientos, ya que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre éstos por lo que se ve una influencia del US sobre esta propiedad de la carne a ciertas condiciones de aplicación.

La Figura 5.3 muestra la influencia del US sobre los valores del pH en muestras control y las tratadas con US, donde se observan aumentos en los valores del pH de las muestras sometidas a un tratamiento con US en comparación con las no tratadas.

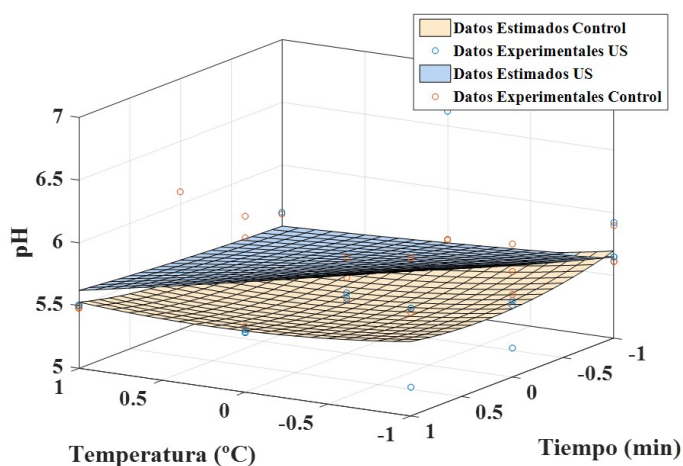


Figura 5.3. Comparación entre tratamientos para los valores de pH.

Por otro lado, con el fin de evaluar la influencia de las variables del proceso sobre el pH, se obtuvieron sus respuestas, así, la Figura 5.4 muestra el análisis por separado de los tratamientos del pH ajustado contra los valores experimentales, donde se observa una falta de ajuste debido a que el R^2 para las muestras tratadas con US fue de 0.444 y el R_{aj} de 0.312, para las muestras control el R^2 fue de 0.283 y el R^2_{aj} de 0.112. Éstos valores son mas altos con US debido a que hubo mayor efecto significativo de éste sobre el pH de las muestras en comparación con los valores obtenidos en las muestras control.

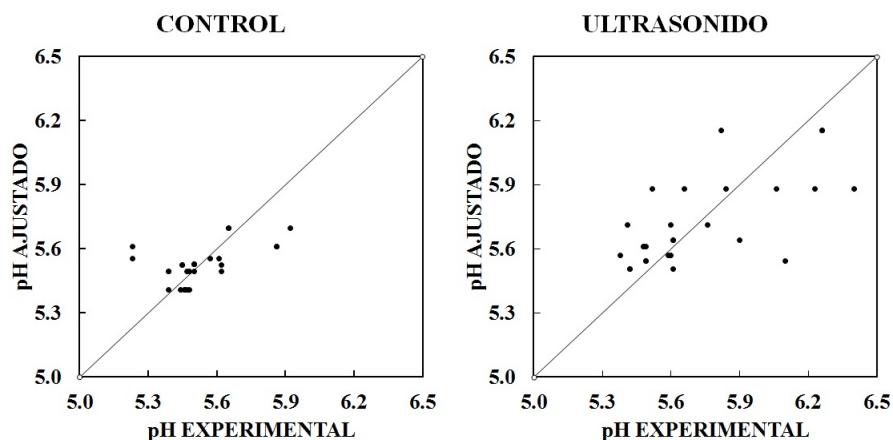


Figura 5.4. pH experimental y ajustado para las muestras control y las sometidas a US por separado utilizando un modelo de segundo orden.

La Figura 5.5 muestra las condiciones a las que el pH de la carne aumenta con un tratamiento con US, se observa que existe un aumento del pH a tiempos largos de exposición con y sin tratamiento de US, el tratamiento con US influye en el aumento del pH a temperaturas bajas de tratamiento.

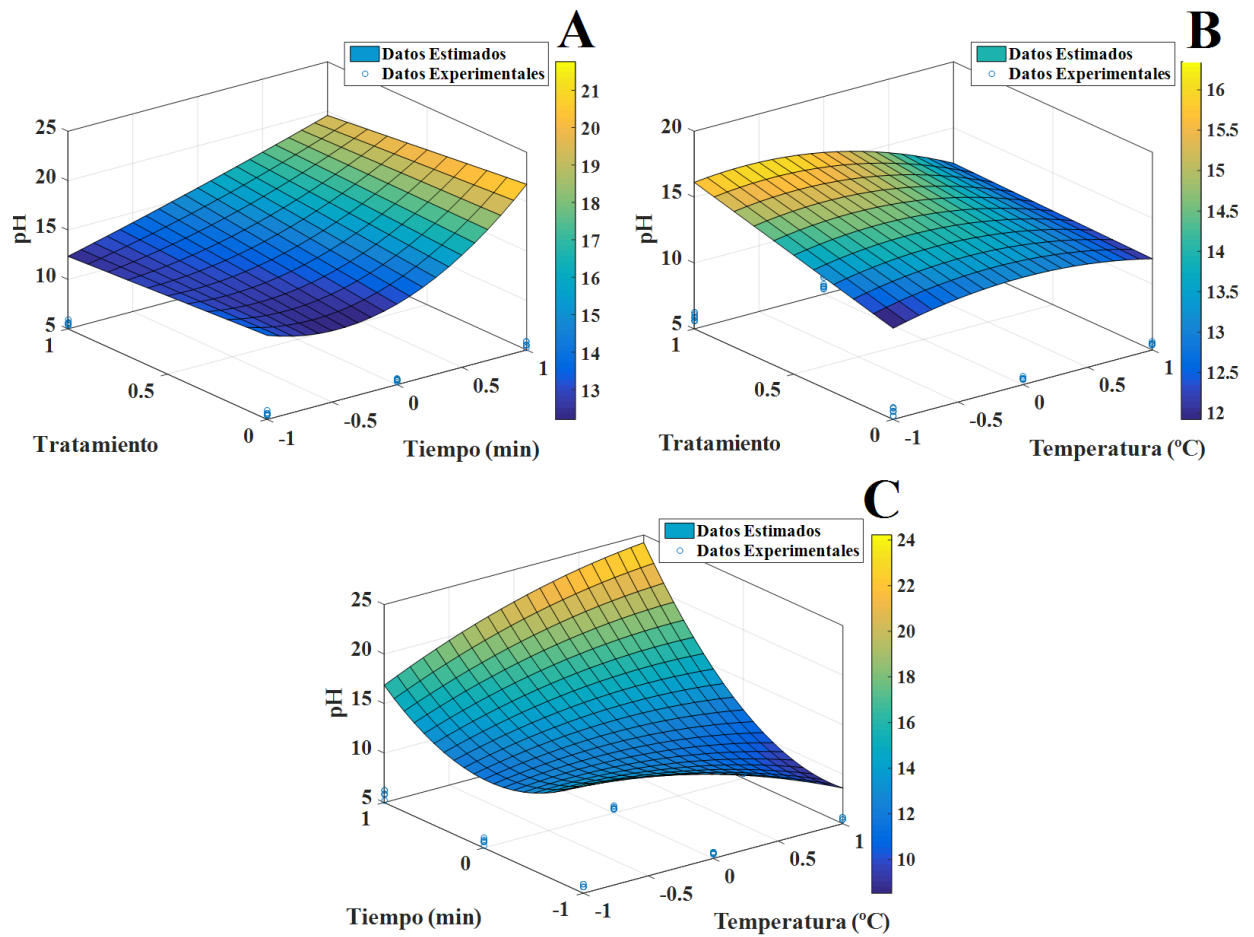


Figura 5.5. Superficie de respuesta del pH de las muestras.

Para el ajuste del modelo se obtuvieron valores de R^2 de 0.494 y un Raj 0.361, los valores experimentales contra los ajustados se muestran en la Figura 5.6.

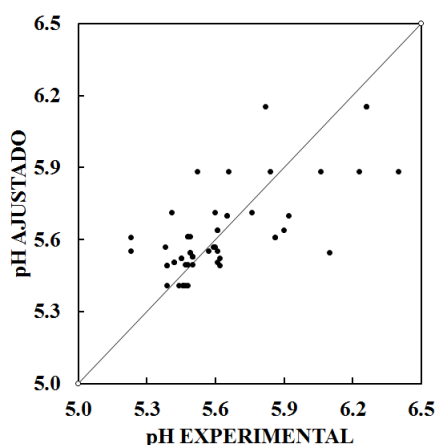


Figura 5.6. pH experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.

Se puede inferir en que éstos aumentos están asociados a cambios conformacionales relacionados con la desnaturalización de las proteínas por tratamiento de ultrasonidos y la degradación proteolítica de las fibras musculares, lo que habría contribuido al aumento en el pH durante los periodos de aplicación de US (Jayasooriya *et al.*, 2007).

5.1.3.3. Humedad

Los resultados obtenidos del contenido de humedad en las muestras control y sonicadas, tratadas en tres tiempos y temperaturas diferentes se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Valores de humedad en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Control	US
6	20	64.440 ± 12.263 ^a	72.323 ± 1.067 ^a
6	30	69.956 ± 0.134 ^a	69.343 ± 2.021 ^a
6	40	70.253 ± 1.198 ^a	70.623 ± 0.414 ^a
30	20	73.740 ± 1.532 ^a	73.096 ± 2.307 ^a
30	30	70.313 ± 1.112 ^a	70.870 ± 1.638 ^a
30	40	69.233 ± 2.091 ^a	70.633 ± 1.272 ^a
60	20	73.220 ± 0.366 ^a	73.498 ± 1.603 ^a
60	30	69.993 ± 2.799 ^a	71.951 ± 1.366 ^a
60	40	69.663 ± 0.225 ^a	70.426 ± 1.020 ^a

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

En los resultados obtenidos experimentalmente se puede observar que las muestras no varían su contenido de humedad, al no presentar diferencias significativas ($p > 0.05$) en ningún tiempo y temperatura de tratamiento. Ambos valores de las muestras sometidas a US y las control se mantienen en un rango aceptable de humedad, por lo que podemos inferir que los cambios ocasionados en la estructura de la carne por efecto de la cavitación no daña el contenido de humedad de las muestras a estas condiciones.

Éstos resultados son parecidos a los obtenidos por Gambuteanu *et al.* (2013) quienes observaron que la humedad no está influenciada por el ultrasonido sin importar la intensidad utilizada. Este resultado podría ser una consecuencia del hecho de que el ultrasonido no causa ninguna alteración en la estructura de la carne, por lo que se puede considerar que mecanismo de migración de agua se mantiene sin cambios.

Pohlman *et al.* (1997) no encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de humedad de muestras tratadas con US y muestras control. Los resultados obtenidos en el presente proyecto también concuerdan con los obtenidos por Jayasooriya *et al.* (2007) quienes concluyen que el daño a la estructura muscular de

la carne causada por el ultrasonido no afectó a los mecanismos de migración de la humedad, por ejemplo, mediante el aumento de los espacios entre las fibras musculares y el tejido conectivo permitiendo el movimiento de humedad más rápida, o la desnaturalización térmica proteínas miofibrilares causados por el calor generado durante ultrasonido.

Cárcel *et al.* (2007) observaron que la influencia de los ultrasonidos sobre los cambios de humedad dependía de la intensidad ultrasónica aplicada y que para lograr una retención significativamente mayor del contenido de humedad que la de la carne control, la intensidad ultrasónica tenía que estar por encima de cierto umbral ($64 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$). Esta podría ser la razón por lo que en este trabajo y autores como los mencionados anteriormente no han encontrado cambios en el contenido de humedad de las muestras sonicadas con respecto a las muestras control, y algunos otros autores sí, como Sajas & Gorbato (1978).

Esto es probablemente porque existe una oposición a la transferencia de humedad debido a que no hay una difusión de ésta como consecuencia de la resistencia de los filamentos de la carne (Cárcel *et al.*, 2007).

La Figura 5.7 muestra la comparación entre tratamientos para los valores de humedad arrojados por un modelo de segundo orden, donde se observa que existe mucha similitud entre los valores de humedad en los tratamientos. Por lo que nos lleva a deducir que el someter la carne a US a tiempos cortos o largos, no modifican el contenido de humedad de las muestras, así mismo a temperaturas por debajo de 40°C .

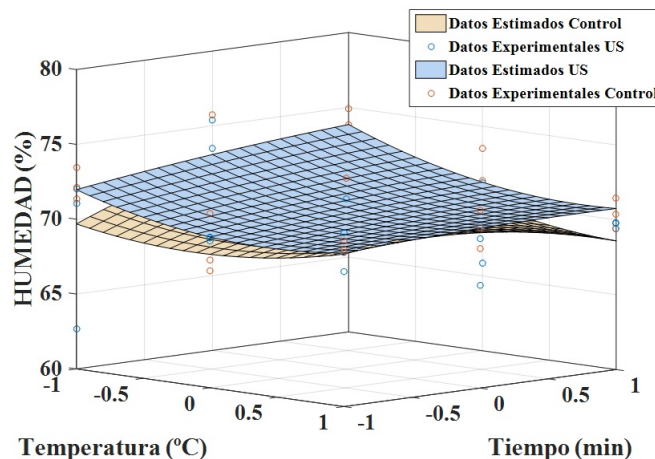


Figura 5.7. Comparación entre tratamientos para los valores de humedad.

La Figura 5.8 muestra los valores experimentales contra los predichos de la humedad para las muestras control, mostrando un R^2 de 0.346 y un Raj de 0.190 y con US obteniendo un R^2 de 0.472 y un Raj de 0.346, donde se observa que los valores de humedad con US se ajustaron mejor al modelo, sin embargo, solo la variable temperatura fue significativa en el análisis de regresión, mientras que para los datos del control ninguna variable fue significativa por lo que éste ajuste no fue adecuado para la respuesta.

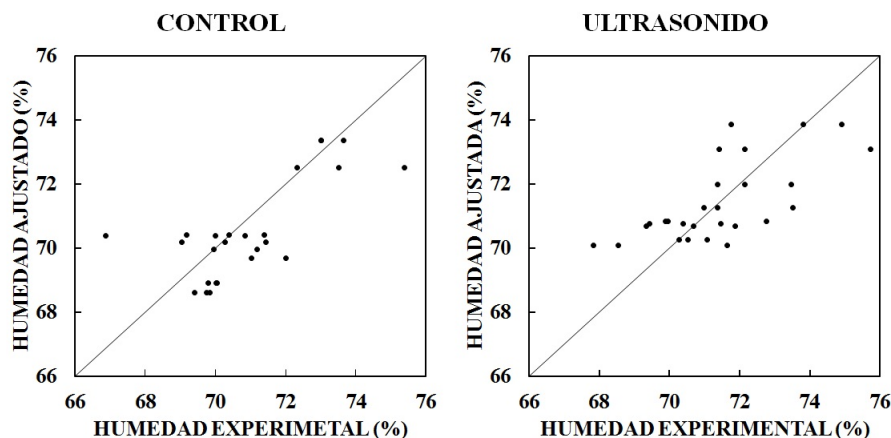


Figura 5.8. Valores de humedad experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.

5.1.3.4. Proteína

La Tabla 5.7 muestra los resultados obtenidos del análisis de proteína para tres tiempos y temperaturas distintas.

Tabla 5.7. Valores del contenido proteico en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Control	US
6	20	18.613 ± 0.268 ^a	19.168 ± 0.973 ^a
6	30	20.914 ± 1.479 ^a	21.723 ± 0.757 ^a
6	40	20.864 ± 0.249 ^a	20.128 ± 0.209 ^b
30	20	18.386 ± 1.056 ^a	15.797 ± 0.857 ^b
30	30	20.398 ± 0.807 ^a	19.286 ± 1.045 ^a
30	40	21.184 ± 1.351 ^a	20.143 ± 0.722 ^a
60	20	18.666 ± 0.308 ^a	18.387 ± 0.866 ^a
60	30	21.586 ± 2.036 ^a	19.293 ± 0.888 ^a
60	40	20.101 ± 0.181 ^a	19.991 ± 0.597 ^a

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Los resultados del contenido de proteína de las muestras tratadas durante 6 minutos presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) únicamente cuando se aplica una temperatura de 40°C, siendo menor el contenido proteico de las muestras sometidas al US. En cuanto al tiempo de 30 minutos solo presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) a una temperatura de 20°C que fue el valor más bajo de proteína obtenido en las mediciones. En los demás tiempos y temperaturas de tratamiento el contenido de proteína no varía significativamente ($p < 0.05$) entre tratamientos, sin embargo, se puede notar que hubo una solubilidad del contenido de proteína en muestras tratadas con US en comparación con las control.

Esta disminución del contenido de proteína en muestras tratadas con US en algunos casos, se le puede atribuir al efecto mecánico del US sobre la estructura de la proteína, pudiendo existir una ligera degradación de ésta, sin embargo, existen tratamientos donde el contenido de proteína es mayor en US que en las muestras control, donde se puede inferir que en estos cambios están siendo afectados por la temperatura. Esto nos lleva a argumentar que a estas condiciones, el baño de US no afectó significativamente ($p < 0.05$) el contenido de proteína de las muestras, no

obstante se observó que existió una cierta tendencia a solubilizar la proteína como consecuencia del estrés mecánico que éstas sufren por consecuencia de la cavitación. En éste sentido Standnik *et al.* (2008) observaron que el baño de US (45 kHz) tiene una influencia sobre el tejido muscular de la carne de vacuno provocando cambios de sus propiedades fisicoquímicas como el aceleramiento del envejecimiento de la carne que son atribuidos a cambios estructurales en las proteínas miofibrilares, éstos fueron evaluados con ayuda de microestructura.

Sin embargo, Jayasooriya *et al.* (2007) no observaron un cambio en el contenido proteico de las muestras de carne de bovino tratadas con US, debido a que no existió un cambio en las pérdidas por goteo y cocción de las muestras, atribuyéndolo a que no existió un daño a la estructura muscular, por lo que no existió desnaturalización térmica de las proteínas miofibrilares. Éstos resultados concuerdan con los obtenidos por Pohlman *et al.* (1997) quienes analizaron que no hubo algún tipo de desnaturalización de la proteína o degradación de ésta, en muestras de músculo pectoral bovino tratadas con US lo que ayudó a que las muestras presentaran una mayor retención de agua.

Por otro lado, Jambrak *et al.* (2008) estudiaron el efecto del US tipo sonda (20 kHz) y baño (40 kHz) a diferentes condiciones sobre las proteínas de suero tratadas durante 15 y 30 minutos, los resultados mostraron que el US tipo sonda tiene mayor efecto en el cambio de las propiedades funcionales de la proteína del suero como la solubilidad y su capacidad espumante, mientras que el US tipo baño tenía menos efecto sobre las propiedades de la proteína de suero, atribuyéndolo a que el US cambia la conformación y estructura de las proteínas lo que ocasiona que la parte hidrófila de los aminoácido estén abiertos hacia el agua (Morel *et al.*, 2000; Moulton & Wang, 1982; Wang, 1975), asimismo mencionaron en su trabajo que el US dio lugar a una disminución del peso molecular de las proteínas lo que implica una mayor área de la proteína este cubierta por moléculas de agua, además del aumento de la temperatura del US por arriba de los 40°C también contribuyen a una mayor solubilidad de la proteína.

Lyng *et al.* (1997) por su parte realizaron un estudio sobre el efecto del US de baño sobre muestras de filetes de carne, concluyendo que la energía del US fue insuficiente para alcanzar el tejido conectivo y las proteínas miofibrilares de la carne, por lo que no se observaron cambios en las propiedades funcionales de ésta. Lyng *et al.* (1998) optaron por el US tipo sonda para ver el efecto que tenía sobre las pro-

piedades de la carne de vacuno, sin embargo, ningún efecto sobre la proteína fue encontrado nuevamente, debido a un control de la temperatura en el US, lo que limitó la degradación o desnaturalización de ésta.

En la Figura 5.9 se observan las condiciones en la que el contenido de proteína de muestras de carne de cerdo pueden variar a diferentes condiciones del US. A tiempos cortos existe una mayor influencia del tratamiento con US ya que se obtiene un mayor contenido de proteína. Para el caso de la temperatura, valores intermedios de ésta sin tratamiento muestran mayor contenido de proteína que aquellas tratadas con US.

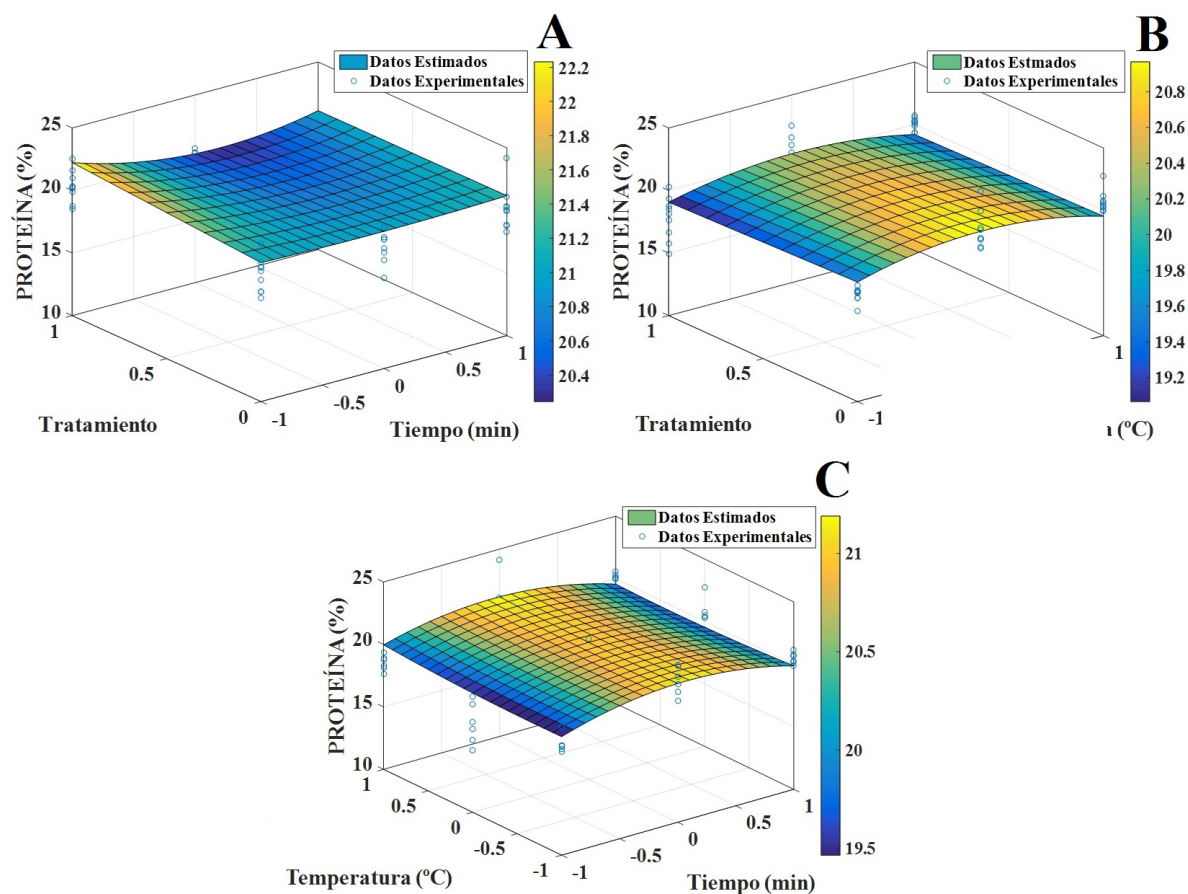


Figura 5.9. Superficie de respuesta del contenido de proteína en las muestras.

La Figura 5.10 muestra los valores experimentales y predichos del contenido de proteína para las muestras control y con US, obteniendo un R^2 de 0.646 y un R_{adj}^2 de 0.554, mostrando que el ajuste del modelo a la respuesta es ligeramente bajo, no

obstante describe adecuadamente el comportamiento de las variables, mostrando una ligera variabilidad de los datos.

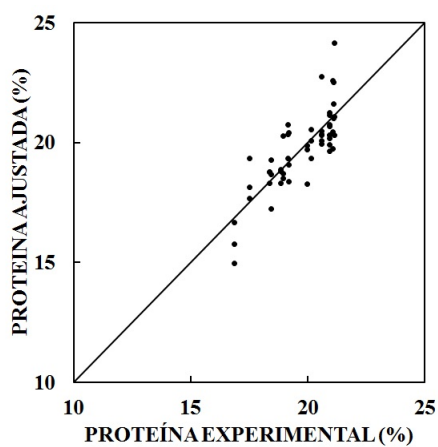


Figura 5.10. Valores de contenido de proteína experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.

5.1.3.5. Pérdidas por cocción

Los resultados obtenidos de las PPC en muestras tratadas durante tres tiempos y temperaturas diferentes con y sin aplicación de US se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Valores obtenidos de las PPC en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Control	US
6	20	46.746 ± 2.006 ^a	45.820 ± 5.833 ^a
6	30	40.483 ± 1.734 ^a	49.500 ± 3.529 ^b
6	40	41.300 ± 4.683 ^a	43.779 ± 2.129 ^a
30	20	51.733 ± 1.858 ^a	56.383 ± 2.007 ^b
30	30	42.453 ± 2.645 ^a	50.050 ± 4.443 ^b
30	40	41.153 ± 0.684 ^a	42.286 ± 9.443 ^a
60	20	54.913 ± 2.816 ^a	55.336 ± 5.132 ^a
60	30	39.893 ± 5.732 ^a	51.786 ± 1.303 ^b
60	40	39.743 ± 3.926 ^a	38.089 ± 3.149 ^a

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

En los valores mostrados se observa que durante el tiempo de 6 minutos de tratamiento el dato que presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) es únicamente el de la temperatura de 30°C siendo mayor las PPC en muestras tratadas con US. Para el tiempo de 30 minutos de tratamiento las PPC de las muestras sometidas a una temperatura de 20 y 30°C, presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, siendo nuevamente mayores las PPC en muestras tratadas con US, para éste tiempo se observa para ambos tratamientos que los valores de las PPC disminuyen conforme la temperatura del proceso aumenta.

En muestras tratadas durante 60 minutos las PPC presentan valores significativamente mayores ($p < 0.05$) cuando éstas fueron sometidas a un tratamiento con US solamente cuando se aplica una temperatura de 30°C, se puede notar una disminución de los valores de PPC en estas muestras conforme la temperatura del tratamiento aumenta.

Los valores de las PPC en casi todos los casos fueron mayores cuando se aplicó el tratamiento con US a las muestras en comparación con las control. Resultados contrarios fueron los obtenidos por Li *et al.* (2015) que usaron un US tipo baño

a 40 kHz y 300 W durante diferentes tiempos (10, 20, 30 y 40 minutos) manteniendo una temperatura de 15°C en el proceso, muestras de carne de pollo fueron utilizadas con diferentes contenidos de sal, los resultados mostraron que el aplicar US a las muestras con niveles de sal distintos durante 10 y 20 minutos mejora las PPC, reduciendo significativamente ($p < 0.05$) estos valores con respecto a las muestras control. Resultados similares fueron obtenidos por Pohlman *et al.* (1997) quienes encontraron que el tratamiento son US sobre muestras de carne de vacuno reducen significativamente las PPC.

Sin embargo, autores como Chang *et al.* (2015) y Jayasooriya *et al.* (2007) quienes usaron carne de vacuno como muestras, no encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las PPC de muestras sometidas a US y sus controles, atribuyendo esto al hecho que el tratamiento de ultrasonidos se realizó en un baño de agua fría, que limita la desnaturalización térmica de las moléculas de proteínas.

Dolatowski *et al.* (2000) por su parte usaron muestras de carne de vacuno (*M. semimembranoso*) para tratarlas con US a 25 kHz e intensidad de $2 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, mostrando que no había diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los valores de las PPC entre muestras sonicadas y los controles, al igual que Gambuteanu *et al.* (2013) quienes estudiaron el proceso de descongelación de la carne de vacuno con US, los resultados arrojaron que no existían diferencias significativas ($p > 0.05$) en las PPC entre muestras control y las sometidas a US.

Los valores de las PPC durante los tres tiempos de tratamiento con y sin aplicación de US, muestran una tendencia a disminuir conforme aumenta la temperatura en un mismo tiempo, excepto a los 6 minutos.

La Figura 5.11 muestra que durante el tratamiento con US, se propondría usar tiempos de tratamiento cortos para reducir las PPC y usar temperaturas intermedias en el tratamiento.

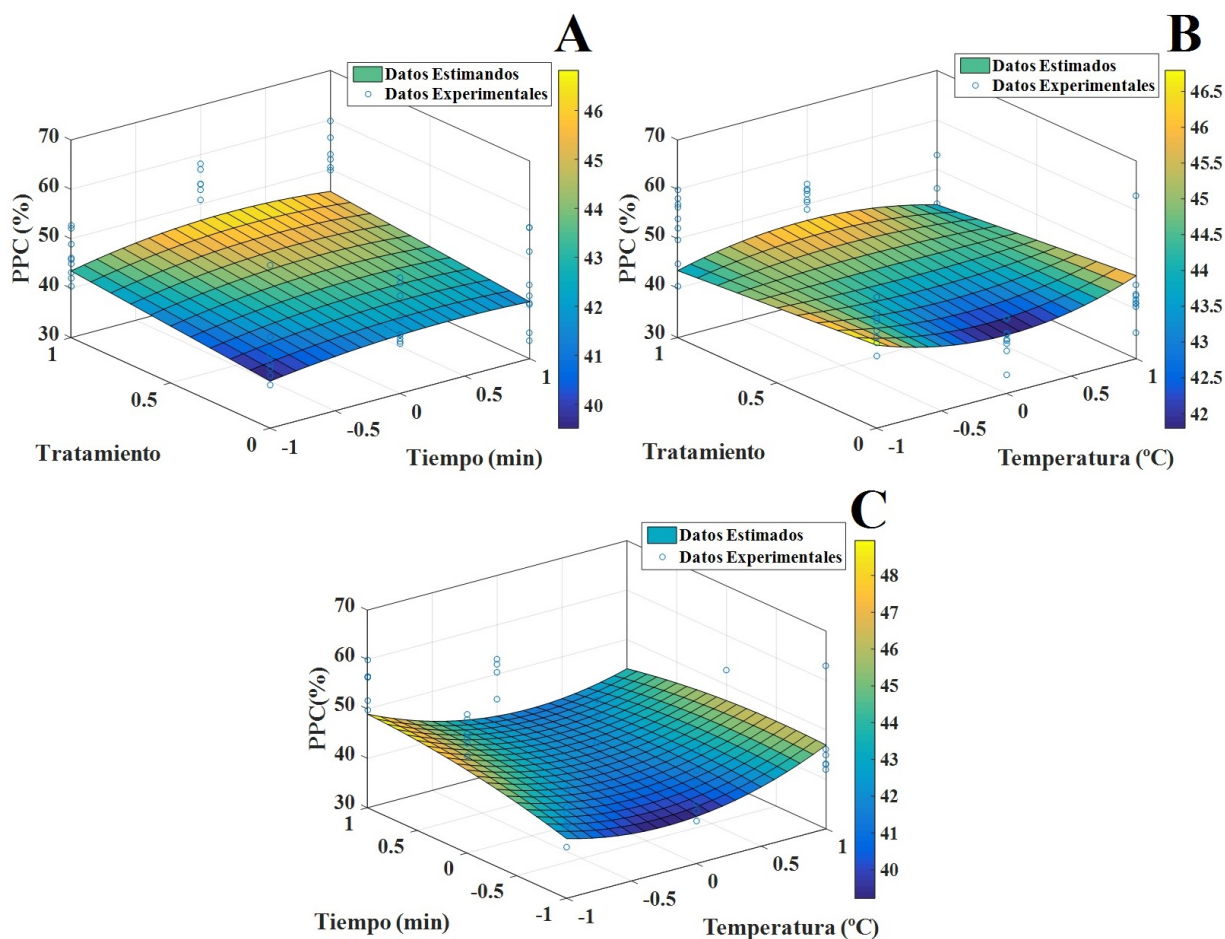


Figura 5.11. Superficie de respuesta para las PPC de las muestras.

La Figura 5.12 muestra los valores experimentales y predichos arrojados por un modelo de segundo orden para las PPC obteniendo un R^2 de 0.730 y un Raj de 0.659, mostrando un ajuste significativo del modelo debido a que se obtuvieron mayores efectos significativos de las variables sobre las respuestas, lo que indica que el modelo predice el comportamiento de éstos valores.

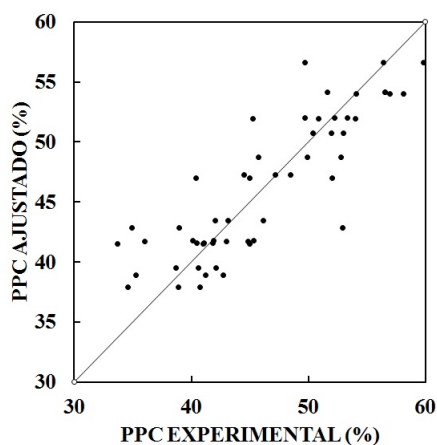


Figura 5.12. Valores de las PPC experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.

5.1.3.6. Rendimiento exudativo

La Tabla 5.9 muestra los resultados obtenidos para el rendimiento exudativo de las muestras control y las sometidas a US durante los tres tiempos diferentes de aplicación y tres temperaturas distintas.

Tabla 5.9. Valores obtenidos del RE en muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Control	US
6	20	10.937 ± 1.334 ^a	2.083 ± 0.929 ^b
6	30	14.806 ± 0.168 ^a	10.526 ± 1.557 ^b
6	40	12.280 ± 0.276 ^a	7.769 ± 0.938 ^b
30	20	7.373 ± 0.118 ^a	6.806 ± 0.593 ^a
30	30	12.483 ± 0.336 ^a	9.453 ± 0.767 ^b
30	40	17.123 ± 1.333 ^a	14.356 ± 2.645 ^a
60	20	12.826 ± 1.455 ^a	12.756 ± 0.548 ^a
60	30	21.116 ± 4.676 ^a	14.139 ± 0.787 ^a
60	40	28.883 ± 0.477 ^a	15.176 ± 0.466 ^b

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Para las muestras sometidas al proceso durante 6 y 30 minutos, quienes exhiben diferencias significativas ($p < 0.05$) en ambos tiempos son las tratadas a una temperatura de 30 y 40°C, siendo el RE de las muestras sonicadas menor en comparación con las control. En cuanto al tiempo de 60 minutos la temperatura de 40°C es la única que presenta diferencias significativas ($p < 0.05$). Se puede notar que en los tiempos de 30 y 60 minutos los valores del RE en ambos tratamientos tiende a ir en aumento, esto se le puede atribuir a la influencia de la temperatura en el proceso. El RE de las muestras disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en la mayoría de las condiciones al ser tratadas con US.

Son pocos los autores que evalúan el RE de las muestras, sin embargo, Chang *et al.* (2015) no concuerdan con los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que reportaron que el RE de muestras usadas como control presentaron valores menores de RE en comparación con los valores obtenidos en muestras sometidas a US durante 30 minutos, éstos valores fueron significativamente ($p < 0.05$) mayores que las tratadas a 20 minutos, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en otros tiempos de sonicación (40, 50 y 60 minutos), infiriendo en que el

tratamiento puede conducir a altas presiones en el interior del medio, lo que resulta en el exudado de las muestras de carne, y en consecuencia, los pesos de las muestras tratadas fueron inferiores a la de las muestras control.

En la Figura 5.13 se observa que las muestras sometidas a un tratamiento con US y a tiempos cortos presentan menor RE que las muestras control, así mismo las muestras que son sometidas a US a temperaturas altas presentan menor RE que a temperaturas bajas.

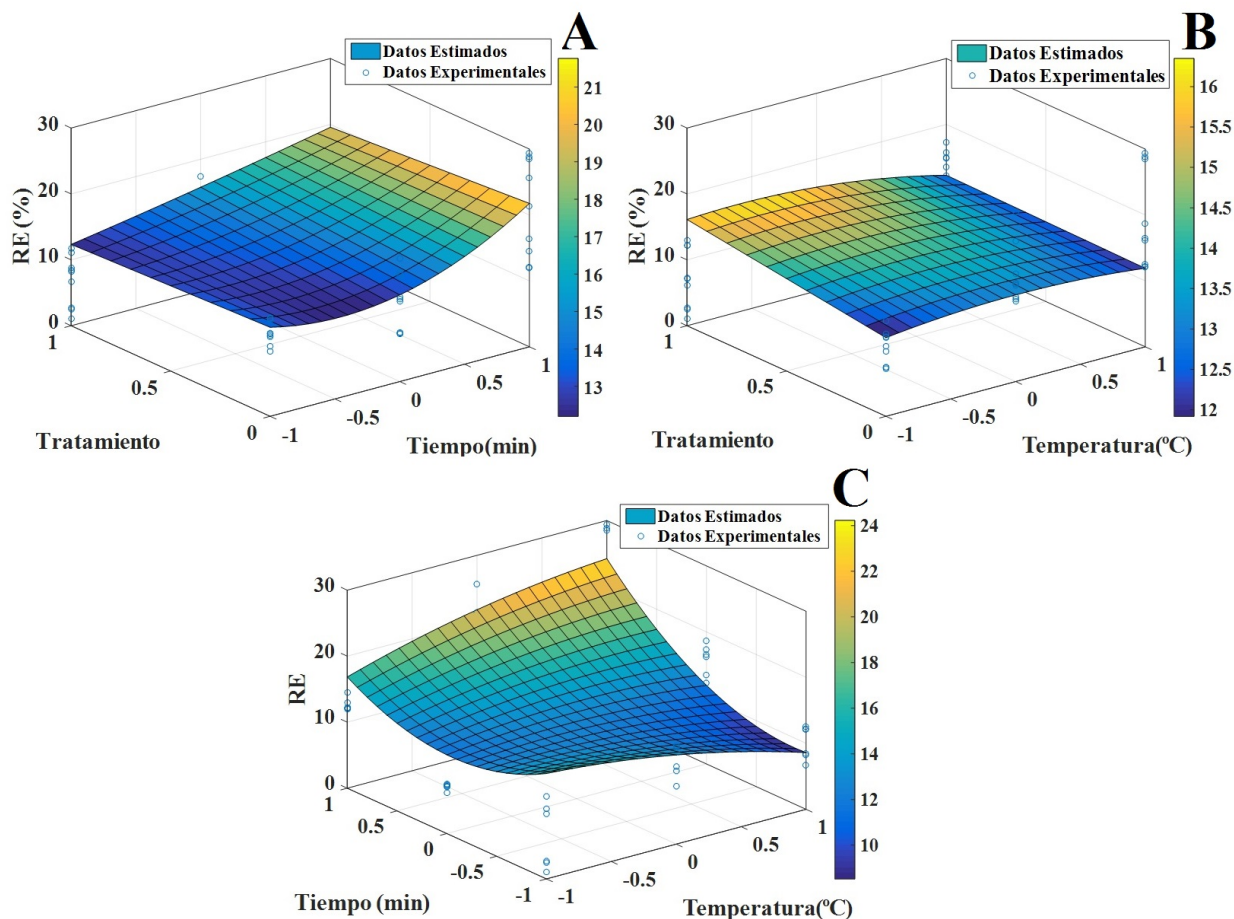


Figura 5.13. Superficie de respuesta para el RE de las muestras.

La Figura 5.14 muestra los valores experimentales y predichos por un modelo de segundo orden para el RE obteniendo un R^2 de 0.914 y un Raj de 0.891, por lo que se obtuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) de las variables sobre el RE, lo que llevo al modelo a describir adecuadamente el comportamiento de las variables sobre la

respuesta.

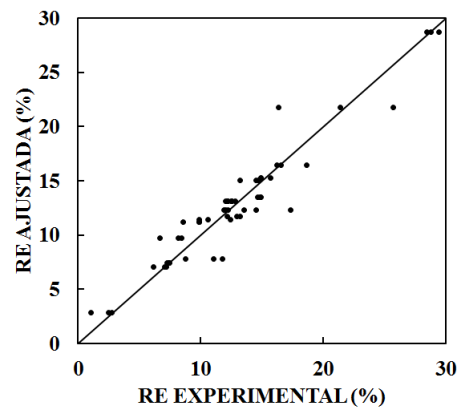


Figura 5.14. Valores del RE experimental y ajustado para las muestras control y sometidas a ultrasonido utilizando un modelo de segundo orden.

5.1.3.7. Textura

Se realizó un análisis TPA en las muestras de carne, los parámetros de textura obtenidos para los diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento se muestran en la Tabla 5.10 y 5.11

Tabla 5.10. Valores obtenidos en los parámetros de textura de las muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento: Dureza, Adhesividad y Gomosidad.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Dureza (N)		Adhesividad (N·seg)		Gomosidad (N)	
		Control	US	Control	US	Control	US
6	20	154.210 ± 62.799 ^a	104.247 ± 44.593 ^a	0.073 ± 0.004 ^a	0.165 ± 0.003 ^b	36.710 ± 2.071 ^a	34.298 ± 3.304 ^a
6	30	156.298 ± 33.755 ^a	112.737 ± 27.486 ^a	0.096 ± 0.024 ^a	0.175 ± 0.031 ^b	51.361 ± 10.366 ^a	32.684 ± 3.124 ^b
6	40	216.853 ± 16.031 ^a	123.157 ± 8.389 ^b	0.131 ± 0.092 ^a	0.244 ± 0.004 ^a	40.382 ± 8.958 ^a	36.538 ± 2.690 ^a
30	20	220.033 ± 15.137 ^a	128.963 ± 54.030 ^b	0.176 ± 0.014 ^a	0.256 ± 0.035 ^b	39.937 ± 10.678 ^a	73.475 ± 2.656 ^b
30	30	241.749 ± 122.676 ^a	142.369 ± 84.745 ^a	0.088 ± 0.004 ^a	0.239 ± 0.021 ^b	34.297 ± 5.072 ^a	70.144 ± 9.018 ^b
30	40	247.907 ± 63.798 ^a	169.833 ± 76.411 ^a	0.035 ± 0.002 ^a	0.333 ± 0.026 ^b	76.136 ± 2.633 ^a	65.601 ± 6.259 ^b
60	20	248.943 ± 19.387 ^a	178.363 ± 79.745 ^a	0.065 ± 0.027 ^a	0.620 ± 0.197 ^b	24.915 ± 4.151 ^a	93.570 ± 3.328 ^b
60	30	259.640 ± 55.846 ^a	200.45 ± 40.653 ^a	0.248 ± 0.020 ^a	0.830 ± 0.026 ^b	74.095 ± 4.075 ^a	144.022 ± 18.590 ^b
60	40	324.043 ± 26.242 ^a	213.45 ± 52.422 ^b	0.111 ± 0.034 ^a	1.152 ± 0.013 ^b	87.637 ± 15.138 ^a	147.924 ± 29.825 ^b

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos correspondiente a cada parámetro.

Dentro de las propiedades texturales, la que representa una mayor importancia en este tipo de análisis es la dureza, por lo que ha sido la primer variable en ser analizada. Así, en los resultados mostrados en la Tabla 5.10 se observa que para el tiempo de 6 y 60 minutos únicamente existen diferencias significativas ($p < 0.05$) para la temperatura de 40°C, mientras que para el tiempo de 30 minutos la temperatura que presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control es la de 20°C. Se nota una tendencia en aumento de los valores de dureza de la carne en ambos tratamientos conforme la temperatura y tiempo de tratamiento aumentan, la dureza de la carne disminuye en todos los casos cuando se le aplica un tratamiento de US.

Resultados similares obtuvieron Chang *et al.* (2015) quienes sometieron muestras de carne de vacuno con US y midieron la fuerza de corte, sus resultados mostraron que las muestras de carne sometidas al US durante 30 minutos tuvieron valores significativamente menores ($p < 0.05$) en comparación con los controles, lo que resulta en una carne más tierna, atribuyéndolo a los cambios en los componentes del músculo principalmente porque de alguna manera existe una alteración en el tejido conectivo, y probablemente las fibras de colágeno se convierte en gelatina, lo que repercute en la tenacidad de la carne. Por su parte Chang *et al.* (2012) observaron que la dureza de la carne tratada con US disminuyó significativamente ($p < 0.05$) con respecto a la muestra control a los 10, 20, 30 y 50 minutos de tratamiento, no obstante observaron un incremento de este parámetro a los 40 y 60 minutos de tratamiento. De la misma forma Smith *et al.* (1991) quienes expusieron músculo semitendinoso a US de baño, también observaron una disminución significativa ($p < 0.05$) de la fuerza de corte en muestras tratadas a 2 ó 4 minutos en comparación con los controles. Sin embargo, la fuerza de cizallamiento aumentó después de 8 minutos de tratamiento, concluyendo que un aumento de la sensibilidad de la carne de vacuno se da en tiempos cortos (hasta 4 minutos), pero disminuye la sensibilidad en los tiempos de tratamiento más largos (8-16 minutos) debido a una consecuencia de la cavitación acústica, produciendo fuerzas hidrodinámicas que afectan a la estructura del músculo.

Jayasooriya *et al.* (2007) usaron de la misma forma músculo semitendinoso observando una disminución en la fuerza de corte de muestras tratadas con US después de 60 segundos de tratamiento, atribuyéndolo a que el US interrumpe la estructura muscular de las muestras lo que resulta eficaz para reducir la tenacidad miofibrilar

y colagenosa de la carne. Asimismo autores como Dolatowski *et al.* (2000) notaron una disminución en la dureza de la carne en muestras tratadas con US con respecto a las muestras control. Lyng *et al.* (1998) observaron un efecto nulo del US tipo sonda (20 kHz) sobre las propiedades de terneza de filetes de carne, evaluadas durante un periodo de 1, 3 o 14 días de envejecimiento de la carne. De la misma manera Pohlman *et al.* (1997) no encontraron ningún efecto del US sobre las propiedades texturales de los músculos pectorales de carne de vacuno durante 5 y 10 minutos de tratamiento. Sin embargo, Smith *et al.* (1991) investigaron el efecto del US sobre la dureza de la carne, los resultados mostraron que para 2 y 4 minutos de tratamiento existe una disminución de este parámetro en las muestras de carne, sugiriendo que el US de alta intensidad es responsable del ablandamiento de la carne debido a la naturaleza destructiva de este fenómeno. Por otro lado Stadnik & Dolatowski (2011) investigaron la influencia del US sobre la fuerza de corte en músculo semimembranoso durante el tiempo de envejecimiento de la carne, los resultados de las mediciones llevadas a cabo 48 y 72 h después del sacrificio reveló que el tratamiento con US redujo significativamente ($p < 0.05$) la fuerza de corte a las 24 y 48 h. Por otra parte Siró *et al.* (2009) quienes trataron muestras de lomo de cerdo con US notaron una disminución significativa ($p < 0.05$) en la fuerza de corte en muestras sonicadas con respecto al control, atribuyendo éste fenómeno a la naturaleza destructiva de cavitación ultrasónica y a la vibración de la ondas ultrasónicas que pueden conducir a un debilitamiento físico de la estructura que puede ser la causa del ablandamiento de la carne.

Por otra parte autores no concuerdan con los resultados obtenidos en el presente trabajo como Hong *et al.* (2014) quienes estudiaron el efecto de la descongelación en la carne de cerdo por medio de US, observaron un aumento de la dureza en las muestras cocinadas después del tratamiento, atribuyéndolo a que el tratamiento dio lugar a una alta pérdida por cocción y por consecuencia un mayor esfuerzo al corte. Sin embargo, Gambuteanu *et al.* (2013) quienes investigaron el mismo proceso no observaron ningún efecto del US sobre las propiedades de la carne cruda y descongelada después de tratar las muestras de carne de cerdo con US.

El parámetro de la dureza lo podemos relacionar con los resultados obtenidos en el pH de la carne, e inferir en que el aumento del pH gracias al tratamiento con US ayuda a reducir la dureza de las muestras, ya que interviene de forma que el pH alto acelera la glucólisis lo que repercute en la suavidad de la carne. Esto nos lle-

va a argumentar que el US es capaz de ocasionar un ablandamiento en la carne de cerdo por la cavitación ultrasónica debido a la naturaleza destructiva de este fenómeno. En medios biológicos tales como las carnes, estas burbujas producen fuerzas hidrodinámicas que afectan la integridad de la estructura muscular. Esto también se puede atribuir a un debilitamiento físico de la estructura del músculo o por la activación de la proteólisis, ya sea por liberación de las catepsinas de lisosomas y/o de iones de Ca^{++} a partir de los almacenes intracelulares de modo que puede activar el calpaínas (Stadnik & Dolatowski, 2011).

Son muchos los factores que influyen en la terneza de la carne, como el tipo de músculo, la edad, la alimentación del animal, etc. sin embargo, son dos fracciones proteicas que determinan la terneza, que son las proteínas del tejido conjuntivo y las proteínas miofibrilares, por lo que podemos inferir en que el ultrasonido afecta la estructura celular debido a la cavitación, siendo la causa del ablandamiento la degradación de alguna de estas proteínas musculares, por lo que los resultados obtenidos en el apartado 4.3.4 muestran valores bajos de contenido de proteína en muestras sometidas a US.

En la Tabla 5.10 también se muestran los resultados obtenidos para la adhesividad, para todos los tiempos y temperaturas de proceso se exhiben diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos siendo de mayor valor los obtenidos para muestras sometidas al US, lo que nos lleva a relacionar este parámetro con la dureza, infiriendo que entre más blanda es la carne se tiene una menor adhesividad de ésta. En cuanto a los valores de gomosidad, durante los 6 minutos de aplicación de US, el valor que mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos fue el de 30°C, notando que las muestras tratadas con US tienen valores más bajos de gomosidad que las muestras control y para los tiempos de 30 y 60 minutos para todas las temperaturas ambos valores de los tratamientos exhiben diferencias significativas ($p < 0.05$), donde las muestras se vuelven más gomosas al aplicarse un tratamiento con US a excepción del tiempo 30 minutos a 40°C.

En la Tabla 5.11 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros de elasticidad, cohesividad y masticabilidad de las muestras.

Tabla 5.11. Valores obtenidos en los parámetros de textura de las muestras tratadas y no tratadas con US durante tres diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento: Elasticidad, Masticabilidad y Cohesión.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Elasticidad (%)		Masticabilidad (N)		Cohesión (%)	
		Control	US	Control	US	Control	US
6	20	54.590 ± 11.647 ^a	37.703 ± 5.698 ^a	24.418 ± 6.299 ^a	13.267 ± 5.197 ^b	32.614 ± 2.715 ^a	39.638 ± 15.870 ^a
		56.359 ± 14.659 ^a	49.994 ± 7.628 ^a	41.823 ± 17.869 ^a	20.400 ± 6.281 ^a	35.946 ± 1.992 ^a	46.284 ± 8.469 ^a
6	40	45.391 ± 4.569 ^a	45.992 ± 2.891 ^a	32.317 ± 8.028 ^a	18.088 ± 2.306 ^b	31.732 ± 1.741 ^a	32.657 ± 5.671 ^a
		55.876 ± 2.085 ^a	52.141 ± 2.085 ^a	39.439 ± 9.435 ^a	24.570 ± 11.625 ^a	36.104 ± 3.494 ^a	31.967 ± 6.216 ^a
30	30	31.109 ± 2.225 ^a	55.921 ± 2.702 ^b	28.125 ± 16.592 ^a	40.738 ± 23.097 ^a	51.745 ± 1.388 ^a	35.572 ± 11.738 ^a
		36.178 ± 2.859 ^a	44.609 ± 4.162 ^b	41.272 ± 9.924 ^a	39.795 ± 18.000 ^a	52.924 ± 2.564 ^a	46.357 ± 4.444 ^a
60	20	60.206 ± 8.210 ^a	56.666 ± 1.894 ^a	49.965 ± 16.213 ^a	44.001 ± 34.081 ^a	41.389 ± 5.080 ^a	32.755 ± 4.785 ^a
		59.446 ± 1.698 ^a	56.388 ± 2.147 ^a	60.322 ± 25.352 ^a	50.523 ± 7.678 ^a	45.060 ± 1.745 ^a	37.892 ± 6.925 ^a
60	40	44.732 ± 3.671 ^a	53.333 ± 2.619 ^b	60.403 ± 10.338 ^a	54.650 ± 11.197 ^a	49.453 ± 13.875 ^a	41.542 ± 3.220 ^a

Valores promedio ± desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos correspondiente a cada parámetro.

Para la elasticidad de las muestras, los valores que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tiempos de tratamiento son 30 minutos a 30 y 40°C, en cuanto al tiempo de 60 minutos solamente en la temperatura de 40°C se notan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Se puede observar que el US no tuvo ningún efecto sobre el parámetro de cohesión de las muestras tratadas. En cuanto a la masticabilidad las muestras que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamiento únicamente fue durante 6 minutos a 20 y 40°C .

5.1.3.8. Color

La Tabla 5.12 muestra los valores obtenidos de L^* y las coordenadas a^* y b^* en las muestras control y tratadas con US durante los tres tiempos de tratamiento a diferentes temperaturas.

Tabla 5.12. Efecto del ultrasonido sobre L^* , a^* y b^* en las muestras control y las tratadas con US durante tres tiempos de tratamiento a tres temperaturas distintas.

Tiempo (min)	Tempe- ratura (°C)	L^*		a^*		b^*	
		Control	US	Control	US	Control	US
6	20	40.391 $\pm$ 1.421 ^a	38.596 $\pm$ 2.274 ^a	1.842 $\pm$ 0.520 ^a	1.044 $\pm$ 0.520 ^a	8.530 $\pm$ 0.469 ^a	8.458 $\pm$ 0.171 ^a
6	30	41.603 $\pm$ 3.917 ^a	42.133 $\pm$ 4.197 ^a	3.526 $\pm$ 2.740 ^a	1.302 $\pm$ 0.697 ^a	9.882 $\pm$ 2.665 ^a	8.716 $\pm$ 1.777 ^a
6	40	41.324 $\pm$ 0.455 ^a	41.031 $\pm$ 0.645 ^a	1.026 $\pm$ 0.880 ^a	0.641 $\pm$ 0.418 ^a	7.384 $\pm$ 0.492 ^a	7.419 $\pm$ 0.762 ^a
30	20	45.372 $\pm$ 2.139 ^a	43.033 $\pm$ 2.976 ^a	1.226 $\pm$ 0.456 ^a	1.965 $\pm$ 0.942 ^a	9.344 $\pm$ 1.338 ^a	8.512 $\pm$ 0.585 ^a
30	30	41.123 $\pm$ 1.736 ^a	41.906 $\pm$ 2.462 ^a	3.150 $\pm$ 0.762 ^a	1.360 $\pm$ 0.468 ^b	9.601 $\pm$ 0.520 ^a	8.299 $\pm$ 0.789 ^a
30	40	44.514 $\pm$ 1.153 ^a	44.383 $\pm$ 1.769 ^a	0.476 $\pm$ 0.535 ^a	0.950 $\pm$ 0.789 ^a	8.010 $\pm$ 1.314 ^a	8.972 $\pm$ 0.475 ^a
60	20	42.690 $\pm$ 2.692 ^a	43.076 $\pm$ 1.238 ^a	0.466 $\pm$ 0.710 ^a	1.378 $\pm$ 0.698 ^a	7.696 $\pm$ 0.626 ^a	8.884 $\pm$ 0.118 ^b
60	30	48.079 $\pm$ 2.117 ^a	47.242 $\pm$ 4.414 ^a	2.382 $\pm$ 0.177 ^a	1.821 $\pm$ 1.036 ^a	9.747 $\pm$ 0.461 ^a	8.569 $\pm$ 0.425 ^b
60	40	47.322 $\pm$ 2.432 ^a	47.573 $\pm$ 4.604 ^a	0.241 $\pm$ 0.652 ^a	0.719 $\pm$ 0.302 ^a	8.484 $\pm$ 1.690 ^a	9.492 $\pm$ 0.829 ^a

Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos correspondiente a cada parámetro. Las letras mayúsculas en la misma columna, pertenecientes a un mismo tiempo, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las temperaturas.

En la tabla anterior se puede notar que los valores de L^* no varían en ningún tiempo y temperatura de tratamiento, lo que nos lleva a inferir que el tiempo de exposición de las muestras al US y los cambios de temperatura no afecta la luminosidad de la carne, mismo caso ocurre con la coordenada de color a^* , ya que solo se presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) en el tiempo de 30 minutos a 30°C , con base a estos datos obtenidos se puede concluir que el ultrasonido no tiene afecto sobre el enrojecimiento de la carne, manteniéndose en la misma gama de color durante los tratamientos. Mientras que en para la coordenada b^* se muestran cambios significativos ($p < 0.05$) de las muestras para el tiempo de 60 minutos a 20 y 30°C , donde los valores disminuyen por lo que tienden a una gama azul.

Chang *et al.* (2012) quienes trataron músculo semitendinoso durante 30 minutos con US, no observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de L^* y a^* entre las muestras control y las sometidas al tratamiento, sin embargo los valores de b^* si fueron influenciados por el US.

Hong *et al.* (2014) evaluaron los cambios de los parámetros de color de la carne de cerdo descongelados por US comprándolos con los descongelados por inmersión en agua o salmuera, el tratamiento con US dio lugar a una rápida descongelación de carne de cerdo. Los resultados de L^* mostraron que no hubo cambios en muestras tratadas con US respecto a los controles, pero hubo cambios en los valores de a^* , estos cambios se atribuyen a que las muestras fueron inmersas en líquido, por lo que existe una pérdida de la proteína sarcoplásmica por goteo, que se atribuye a los cambios de color en carne, mismo comportamiento se obtuvo en los valores de b^* de la carne los cuales fueron más bajos que los del control, también notaron un cambio en el color total de la carne por efecto del medio de inmersión de la carne tratada con US.

La Tabla 5.13 muestra los valores obtenidos de la tonalidad de la carne, los valores calculados de las diferencia de color (ΔE) y C^* , para las muestras tratadas y no tratadas con US.

Tabla 5.13. Efecto del ultrasonido sobre el tono, color y el matiz en las muestras control y las tratadas con US durante tres diferentes tiempos tratamiento a tres temperaturas distintas.

Tiempo (min)	Tempe ratura (°C)	Tono (h°)		Croma (C^*)		Diferencia total de color (ΔE)	
		Control	US	Control	US	Control	US
6	20	77.681 ± 3.725^a	82.978 ± 1.514^a	8.738 ± 0.419^a	8.525 ± 0.192^a	Control	US
6	30	72.563 ± 10.419^a	81.948 ± 3.253^a	10.539 ± 3.380^a	8.821 ± 1.825^a	0	0.537 ± 0.487^A
6	40	82.180 ± 3.940^a	85.259 ± 2.849^a	7.487 ± 0.550^a	7.452 ± 0.4791^a	0	0.424 ± 0.323^A
30	20	82.190 ± 3.940^a	80.682 ± 3.273^a	9.438 ± 1.267^a	8.763 ± 0.709^a	0	0.742 ± 0.508^A
30	30	71.995 ± 3.333^a	84.141 ± 4.808^b	10.115 ± 0.722^a	8.419 ± 0.784^a	0	0.569 ± 0.325^A
30	40	86.894 ± 3.112^a	86.894 ± 3.112^a	8.032 ± 1.346^a	9.042 ± 0.538^a	0	0.919 ± 0.225^A
60	20	86.544 ± 4.520^a	81.193 ± 4.254^a	7.729 ± 0.680^a	9.008 ± 0.122^a	0	0.767 ± 0.357^A
60	30	76.261 ± 0.916^a	78.003 ± 7.025^a	8.504 ± 1.639^a	8.803 ± 0.333^a	0	0.938 ± 0.557^A
60	40	86.099 ± 0.401^a	85.667 ± 1.816^a	10.035 ± 0.467^a	9.552 ± 0.830^a	0	0.768 ± 0.280^A

Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Las letras minúsculas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos correspondiente a cada parámetro. Las letras mayúsculas en la misma columna, pertenecientes a un mismo tiempo, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las temperaturas.

Los valores del tono de la carne (h°), muestran que solo existen diferencias significativas ($p < 0.05$) durante el tiempo de 30 minutos de tratamiento a 30°C , mientras que para todos los demás tiempos y temperatura el tono de la muestra no varía manteniéndose en la gamma rojo-amarillo. También puede notarse que el US no afecta la cromacidad o brillantez de las muestras (C^*) ya que no se notan diferencias significativas ($p < 0.05$) en ningún tiempo y temperatura del tratamiento.

Los valores obtenidos de ΔE , muestran que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en un mismo tiempo de tratamiento a diferentes temperaturas, asimismo los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran valores de $\Delta E < 1$, en este sentido la norma ISO (2004)/12647-2 especifica, que cuando las diferencias de color sean < 1 entre una muestra y otra, éstas no son significativas ($p > 0.05$), por lo que podemos inferir en que el US no ocasiona cambios de color en las muestras sometidas a estas condiciones.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, nos lleva a deducir que el US no causa efecto sobre las propiedades de color de la carne y que a pesar del calor generado éste no es suficiente para que exista una desnaturalización térmica o una oxidación de los pigmentos del color. Observaciones similares fueron obtenidas por Jayasooriya *et al.* (2007) quienes trataron muestras por un periodo corto de 240 segundos, donde no notaron ningún cambio en los parámetros de L^* , a^* y b^* . Sin embargo, estos resultados no son concordantes con los obtenidos por Pohlman *et al.* (1997) quienes notaron un cambio en los parámetros de color carne sometida a US, obteniendo valores menores L^* , así mismo los valores de a^* disminuyeron, mientras que los de b^* aumentaron, obtuvieron un h° más naranja de la carne, esto lo atribuyen principalmente al calor generado durante el tratamiento. Esta discrepancia pudo ser debido al nivel de potencia utilizado (20 kHz) en comparación con el presente estudio (37 kHz). Stadnik & Dolatowski (2011) quienes trataron carne de novillos durante 120 segundos a 45 kHz de frecuencia, concluyeron que el US no afectó los parámetros de color de la carne en comparación con los controles durante el periodo de envejecimiento, pero si acelera el cambio de color de la muestra sonicada siendo ligeramente menos estable en comparación con la muestra control.

Fuentes *et al.* (2016) evaluaron el efecto del US sobre el color del lomo de atún, notando diferencias significativas ($p < 0.05$) en los parámetros de L^* y observando que el US tuvo un efecto sobre la carne tratada a diferentes tiempos de exposición, la cual presenta valores menores en muestras tratadas durante 3, 4 y 5 minutos, en

cuanto a los valores de a^* concuerda con el presente trabajo ya que este parámetro no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la muestra control y la tratada con US a 3 minutos, mostrando que el tratamiento no afectó la muestra, sin embargo, a los 4 y 5 hubo un efecto significativo ($p < 0.05$) entre los tratamientos mostrando valores menores de a^* .

5.1.4. Selección de las condiciones del proceso para elaborar las salchichas

En base al modelo de segundo orden elaborado en la Etapa I se analizaron los efectos significativos de las variables del proceso sobre las propiedades de la carne y se eligieron aquellas en las que se habían notado algunos cambios significativos como en la CRA, pH, RE, Proteína y Dureza. Por lo que en Excel se introdujeron diferentes condiciones de tiempo y temperatura utilizadas en el proceso anterior dentro del modelo de segundo orden, esto se realizó con la herramienta *solver* con la finalidad de hacer la optimización mediante la obtención de los valores de las respuestas convenientes para la siguiente etapa analizándose simultáneamente con las superficies de respuesta obtenidas. Así las condiciones del tratamiento que nos arrojaba las mejores respuestas de interés fue el tiempo de 30 minutos manejando una temperatura de 30°C, por lo que estas fueron las condiciones finales utilizadas en la Etapa II.

5.2. Reducción del contenido de fosfatos en las salchichas

Una vez definidas las condiciones del pre-tratamiento de la carne con US, posteriormente se eligieron 3 niveles de contenido de fosfato. Para ello se consideró lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994, la cual especifica que el máximo nivel de fosfatos añadidos por kilogramo de masa cárnica para salchichas es del 5 %, por lo que éste se consideró como el nivel máximo, seguido de un nivel intermedio y uno bajo, quedando tres niveles de adición de fosfatos del 5, 2.5 y 0 %.

En esta etapa se muestran los resultados de las caracterizaciones de los dos lotes

de salchichas elaborados con carne sometida a un tratamiento con US (SUS) y sin tratamiento (SC) cada uno con los tres niveles diferentes de fosfatos anteriormente mencionados.

5.2.1. Caracterización de las salchichas

5.2.1.1. Capacidad de retención de agua

La Figura 5.15 muestra los resultados obtenidos en el análisis de la CRA de las SUS y las SC.

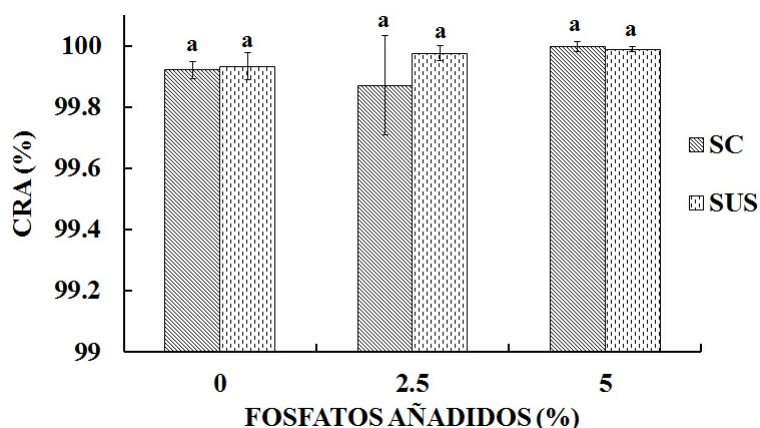


Figura 5.15. CRA de las muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Los valores arrojados por el análisis muestran que la CRA para ambas muestras es alta en todos los niveles de fosfatos, sin embargo, la CRA muestra valores más altos en muestras elaboradas con un 5 % de fosfatos, ya que la función que cumplen es que esta variable aumente, los valores descienden ligeramente al disminuir el contenido de fosfatos en las salchichas, sin embargo, los valores de las SUS son más altos que en las SC aunque no significativamente ($p > 0.05$). Se puede concluir que la CRA en el presente estudio se vio afectada mínimamente por efecto del US en la carne y por los diferentes niveles de contenido de fosfato en las salchichas, para 0 y 2.5 % la CRA en muestras SUS fue más alta que en SC. Erdogdu *et al.* (2007) investigaron el efecto solamente de la adición de distintos niveles de fosfatos (2, 4 y 6 %) en

carne sobre la CRA, los resultados obtenidos afirmaron que los polifosfatos habrían promovido la despolimerización de los filamentos de la miosina, lo que provocó un debilitamiento en las uniones de la actina con la miosina, estos cambios en las proteínas permitieron que la carne con mayor contenido de polifosfatos tuviera una mayor CRA que las muestras control (sin fosfatos).

Baublits *et al.* (2005) evaluaron el efecto de dos niveles de NaCl (2.0 y 0.4 %) y de fosfatos (0.2 y 0.4 %) en músculo de vacuno, los resultados de la CRA mostraron que la adición de cualquier nivel de fosfatos/sal permite un aumento de este parámetro en comparación con los controles (sin adición), esto debido a la capacidad de los fosfatos de interactuar con las proteínas, promover la repulsión de ésta y posteriormente una mayor unión del agua. Peng *et al.* (2009) estudiaron la influencia del fosfato sobre CRA de salchichas elaboradas con carne de cerdo y cinco niveles de fosfato (0, 1, 2, 3, 4 y 5 %) mostrando que cuando se añaden fosfatos por arriba del 3 % la CRA se ve mejorada.

O'Flynn *et al.* (2014b) investigaron los efectos de las AP en la carne cerdo a 150 y 300 MPa durante 5 minutos, con el fin de elaborar salchichas reducidas en fosfatos, mostrando en sus resultados que hubo una reducción en la CRA debido a la desnaturalización de la proteína causada por el calor, lo cual en el presente trabajo no se vio ya que las temperaturas del proceso fueron controladas, además de inferir que el efecto de la cavitación no fue tan intenso como en las AP para afectar los mecanismos de la carne.

5.2.1.2. pH

Los resultados obtenidos de las mediciones de pH en las muestras de SUS y SC se muestran en la Figura 5.16.

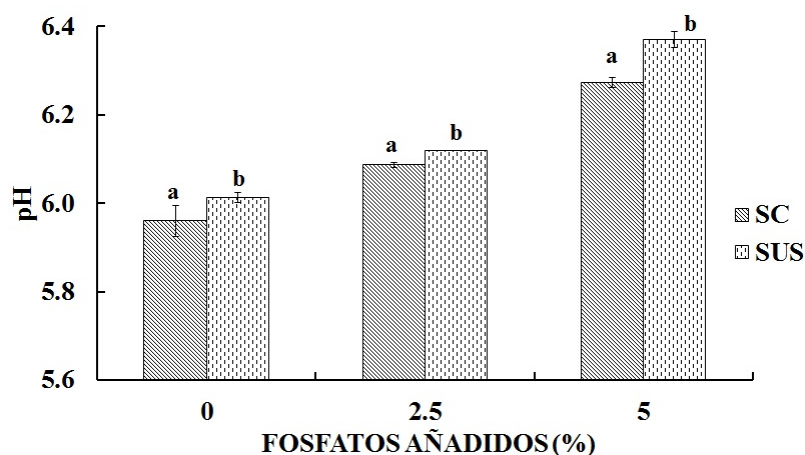


Figura 5.16. pH de las muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Los resultados obtenidos de los valores de pH de las salchichas se notan significativamente más altos ($p < 0.05$) en SUS, en todos los diferentes niveles de fosfatos añadidos siendo los valores más bajos obtenidos en las muestras con 0 % de fosfato. Éstos valores van aumentando simultáneamente con nivel de contenido de fosfatos añadidos, así los valores más altos de pH se obtuvieron cuando se tuvo un 5 % de contenido de fosfatos. Por lo que el contenido de fosfatos en las salchichas afecta el pH de la carne, provocando un aumento de éste mientras mayor sea el porcentaje añadido de este aditivo, sin embargo, basados en los resultados obtenidos en el apartado 4.3.2, podemos deducir que el US también ayuda a aumentar el pH de la carne y así al elaborar productos derivados de ésta su pH también se verá afectado, ayudando a que éste aumente su valor.

Baublits *et al.* (2005) evaluaron el efecto de dos niveles de NaCl (2.0 y 0.4 %) y de fosfatos (0.2 y 0.4 %) en músculo de vacuno, los resultados obtenidos del pH mostraron que la inyección de cualquier tipo de fosfato al músculo ayuda al aumento de su pH, incluso más que la inyección de NaCl en cualquier nivel, estos resultados fueron concordantes con los obtenidos por Knipe *et al.* (1985) quienes observaron un aumento del pH en una emulsión de ternera o cerdo, debido a un aumento en la adición de fosfato del 0.15 a 0.30 %.

5.2.1.3. Humedad

La Figura 5.17 muestra los valores obtenidos del contenido de humedad en muestras SUS y SC.

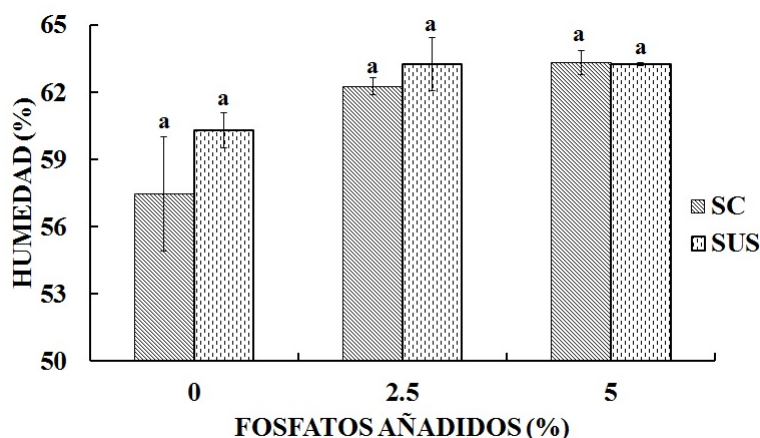


Figura 5.17. Contenido de humedad en muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

La humedad de las SUS en cualquier nivel de fosfatos añadidos no muestra diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto a su correspondiente control. Los valores más altos de humedad de la carne se tienen en el nivel de 5 % de fosfato, esto es porque la función que tienen los fosfatos en las salchichas es de retener la humedad en el producto, sin embargo, el lote de SUS de 2.5 % de fosfato muestra los mismos valores de humedad de la SC con 5 % de contenido de fosfatos por lo que se puede notar una pequeña influencia del US para retener la humedad en las muestras, los valores de humedad más bajos se presentan en los lotes elaborados con 0 % de fosfatos. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Baublits *et al.* (2005) quienes observaron que el contenido de humedad en muestras de músculo de vacuno era afectado por el tipo, nivel y la velocidad de inyección del fosfato en el músculo, haciendo que el porcentaje de humedad en la muestras aumentara sin modificar la CRA y el rendimiento de cocción.

Por su parte O'Flynn *et al.* (2014b) investigaron los efectos de las AP (150 y 300 MPa) y el contenido de fosfatos (0, 2.5 y 5 %) y sobre la humedad en salchichas

crudas y cocidas, los resultados mostraron que después de ser cocinadas las muestras disminuyen su contenido de humedad, sin embargo, el adicionar fosfatos a la formulación y tratar las muestras a 150 MPa ayuda a aumentar el contenido de humedad con respecto a las muestras control cocinadas, atribuyéndolo a que durante la cocción se pierde agua como resultado de la desnaturalización de la proteína causada por el calor, sin embargo, las AP modifican la estructura de las proteínas lo que podría estar ligado con que exista mayor retención de humedad en muestras tratadas.

5.2.1.4. Proteína

Los resultados mostrados en la Figura 5.18 corresponden al análisis del contenido proteico en muestras de SUS y SC.

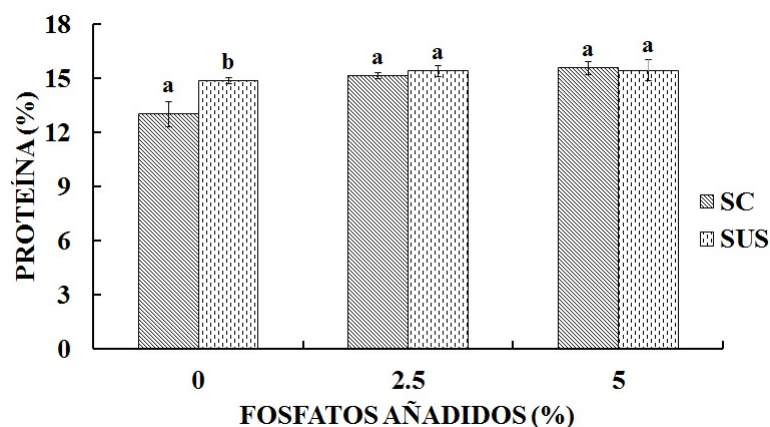


Figura 5.18. Contenido de proteína en muestras de SUS y SC a tres niveles de fosfatos añadidos. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

El análisis del contenido de salchichas muestran que únicamente existen diferencias significativas ($p < 0.05$) del contenido de proteína cuando no se le agrega fosfatos a la formulación, que correspondió a los valores más bajos de contenido de proteína que se obtuvieron, esto se le puede atribuir a que el pH fue más bajo en esa concentración por la falta de este aditivo, ya que un cambio en el pH de las proteínas puede acarrear modificaciones importantes en su conformación debido a cambios de ionización de las cadenas laterales cargadas, ya que se afecta el puente salino que

estabilizan su estructura nativa, además que los fosfatos se emplean en este tipo de productos para aumentar la extracción y solubilización de las proteínas.

La adición de fosfatos a un producto cárnico tiene muchas funciones, una de las más importantes es la capacidad que tiene de ligar agua abriendo las estructuras de la proteína, sin embargo, en este trabajo los cambios en la CRA no fueron significativos ($p > 0.05$) lo que podría estar indicando que no existe una modificación de la estructura de las proteínas. En cambio se puede notar una clara influencia del US sobre el pH de las muestras, por lo que esto ayudó a una mayor estabilidad de la proteína en contenidos de fosfatos por arriba del 2.5 %.

Keeton *et al.* (1984) informaron de que las salchichas elaboradas con carne tratada con AP y sin fosfatos tenían pérdidas de agua significativamente altas ($p < 0.05$) en comparación con las elaboradas con 3 y 5 % esto se atribuyó a que existió una mayor solubilidad de la proteína.

O'Flynn *et al.* (2014a) reportaron que salchichas elaboradas con carne sometida a AP y elaboradas con niveles de fosfatos por debajo del 2.5 % afectó la estabilidad de la masa cárnica destinada para la su elaboración, sin embargo, al aplicar AP por arriba de los 300 MPa se puede reducir el nivel de fosfatos a 2.5 % sin desestabilizar la emulsión, lo que sugiere que las AP ayudan a una mayor extracción de las proteínas lo que disminuye la adición de fosfatos a productos cárnicos elaborados.

Díaz-Vela *et al.* (2008) evaluaron el efecto de adición de cinco diferentes niveles de fosfatos sobre la funcionalidad del surimi de trucha arco, encontrando que la solubilidad de las proteínas fue mejor a niveles más altos de pH, pero la fuerza de gel se vio afectada por la adición de fosfatos. Lo anterior pudo haber afectado la agregación de las proteínas en la formación del gel sobre todo a altas concentraciones, disminuyendo significativamente ($p < 0.05$) la fuerza necesaria para romper la estructura proteica creada, esto como consecuencia de que existió un exceso de cargas negativas, creando gran repulsión entre las moléculas proteicas.

La adición de aditivos como los fosfatos a un producto cárnico es con la finalidad de aumentar las propiedades del producto como son el pH, CRA, etc. y evitando modificar algunas como el contenido proteico, sin embargo, hoy en día se está reduciendo o evitando el uso de estos aditivos, por lo que se pretende reemplazarlos con el uso de tecnologías emergentes como el US, los resultados mostrados en el presente trabajo indican que existe una solubilización de las proteínas en la carne por efecto del US, sin embargo, al elaborar un producto con una carne previamente

tratada ayuda a reducir el nivel de fosfatos en su formulación a la mitad, ya que mantiene el contenido proteico de la salchicha en los mismos valores que si se elaborara con un 5 % de fosfatos.

5.2.1.5. Textura

Los resultados del análisis TPA realizado en muestras de SUS y SC se observan en la Figura 5.19.

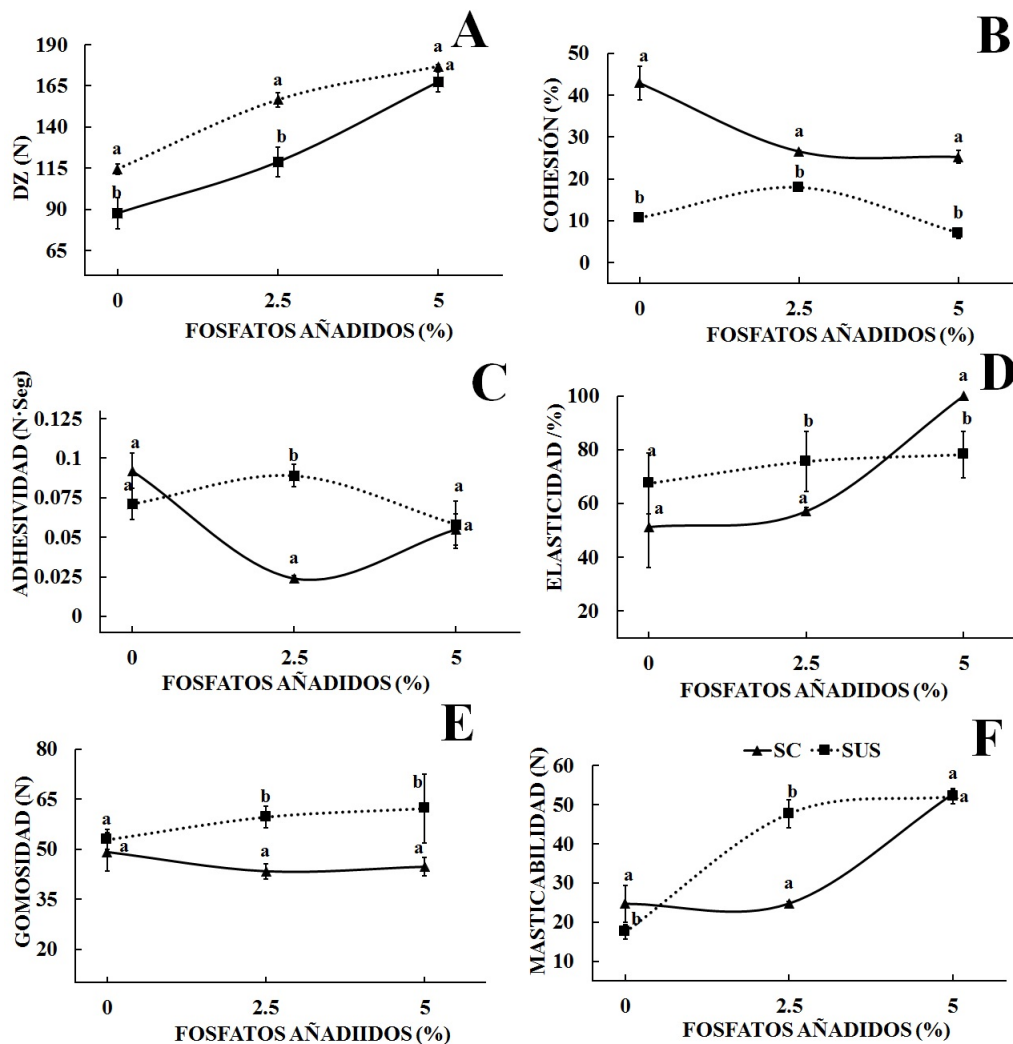


Figura 5.19. Análisis TPA en muestras SUS Y SC: $\cdots\blacktriangle\cdots$ SC $\text{—}\blacksquare\text{—}$ SUS. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

El análisis TPA de las salchichas muestra que la dureza (Figura 5.19 A) de las SUS es significativamente ($p < 0.05$) más baja cuando su contenido de fosfatos es de 0 y 2.5 % de fosfatos, esto puede ser porque al someter la carne a un tratamiento con US se debilita la estructura de la carne volviéndola más blanda, por lo que ese ablandamiento se ve reflejado al elaborar un producto cárnico, las SUS con 5 % de contenido de fosfato son menos duras que las SC, sin embargo, éstas no mostraron diferencias significativas entre si. La cohesión (Figura 5.19B) de la SUS es significativamente ($p < 0.05$) más baja que las SC en todos los niveles de fosfatos agregados, esto se le puede atribuir a que la dureza de las muestras es menor que en las SC. Los valores de adhesividad (Figura 5.19 C) de las SUS es significativamente más alto cuando se le agrega un 2.5 % de fosfatos, mientras que la SC para este mismo nivel tiene el valor más bajo de este parámetro.

En cuanto a la elasticidad (Figura 5.19D) de las SUS ocurre el caso contrario a la cohesión, ya que en el nivel más bajo de fosfatos, la elasticidad es más baja y tiende a aumentar conforme el nivel de los fosfatos va aumentando, y solo se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) en los niveles de 2.5 y 5 % de fosfatos. Los valores de la gomosidad (Figura 5.19E) de las SUS son más altas que las de la SC, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$) en los niveles de fosfatos de 2.5 y 5 %, donde podemos relacionar los parámetros de dureza y cohesión, ya que estas presentan valores más altos que sus respectivos controles, mientras que las muestras en este caso se vuelven más gomosas mientras menos dureza y cohesión presenten.

La masticabilidad de las muestras (Figura 5.19F) presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) en un 0 % de contenido de fosfatos siendo menor el valor en muestras SUS, sin embargo, al agregar 2.5 % de fosfato este valor aumenta significativamente ($p < 0.05$), se podría decir que este parámetro está relacionado directamente con la elasticidad de la muestra ya que los valores tienden a aumentar en muestras SUS y SC conforme el nivel de fosfatos agregados va en aumento

Algunos de los datos obtenidos no muestran una tendencia clara de su comportamiento, sin embargo, se puede concluir que el US y el nivel de contenido de fosfatos tiene un efecto sobre la textura de las salchichas, ya que el efecto de la cavitación en la carne, repercute en las características de un producto cárnico terminado como las salchichas siendo el nivel de 2.5 % de contenido quien muestra diferencias significativas en todos los parámetros medidos.

Erdogdu *et al.* (2007) añadieron distintos niveles de fosfatos en la carne, para ob-

servar el efecto que tienen estos sobre las propiedades texturales, los resultados arrojaron que la adición de polifosfatos aumentó la ternura y jugosidad de filetes de cerdo, éste aumento en la sensibilidad de las muestras tratadas con polifosfatos se pueden atribuir a un debilitamiento del músculo y también a que existe un mayor contenido de agua en las muestras tratadas. Schroeder (2013) probó los efectos del proceso de vacío con dos niveles diferentes de fosfatos (1 y 1.5 %) sobre el jamón de pechuga de pavo sobre su textura usando un control de 0.35 % de contenido de fosfato notando que los parámetros de dureza, gomosidad, y masticabilidad fueron significativamente ($p < 0.05$) más bajos en muestras que contenían 1.5 % respecto al control, no se observaron efectos significativos ($p > 0.05$) en los parámetros de elasticidad y cohesividad.

Los polifosfatos son también conocido por su efecto en la tenderización, donde su uso provoca un debilitamiento e hinchazón de la estructura de la fibra muscular (Erdogdu *et al.*, 2007), por lo que los resultados obtenidos en la dureza de las SUS se puede atribuir al efecto que causo el US sobre la carne debilitando sus fibras musculares haciendo la carne más blanda además del efecto de los fosfatos los cuales ayudan a la ternura de la carne.

Autores como O'Flynn *et al.* (2014b) no concuerdan los presentes resultados ya que ellos investigaron los efectos de la AP en carne cerdo para la elaboración de salchichas con un menor contenido de fosfatos, los resultados mostraron que el tratamiento de AP a 150 MPa aumentó la dureza en salchichas con un nivel de fosfato de 0.25 %, más no cuando el fosfato era totalmente eliminado mientras que a 300 MPa la dureza de las muestras aumentó.

Crehan *et al.* (2000) por su parte examinaron los efectos de las AP (150 y 300 MPa) y dos niveles de agregación de sal (1.5 y 2.5 %) en salchichas, los resultados mostraron una mejora significativa en los parámetros de dureza, cohesividad, gomosidad, elasticidad y masticabilidad en muestras tratadas y una disminución significativa ($p < 0.05$) de la adhesividad en salchichas tratadas a 300 MPa, pero sin cambios en las tratadas a 150 MPa, argumentando que las AP es un tratamiento que ayuda a la fuerza de unión entre partículas de carne, mejorando la cohesión entre éstas.

Se realizó un análisis de firmeza en las muestras de SUS y SC, los resultados se muestran en la Figura 5.20.

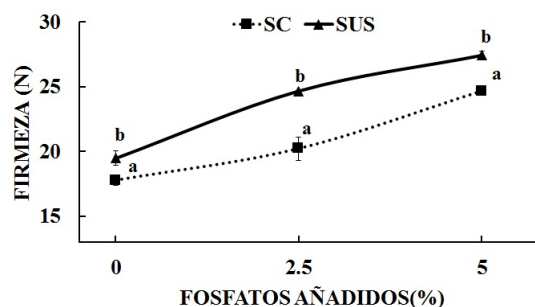


Figura 5.20. Análisis de firmeza en muestras SUS y SC. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Los resultados muestran que las SUS son significativamente ($p < 0.05$) más firmes que las SC, observándose una tendencia en aumento en ambos lotes cuando los niveles de fosfatos aumentan, se observa que a pesar de tener resultados de dureza más bajos en las SUS, la estructura de la salchicha se mantiene más firme que las SC, esto puede atribuirse a que la gomosidad de la SUS es mayor que la SC, lo que indica que su red es más sólida y por lo tanto con mayor firmeza.

Mandava *et al.* (1994) observaron que el tratamiento AP entre 100 y 200 MPa aumentó la firmeza de las salchichas reducidas en fosfatos, concluyendo que el tratamiento AP provoca desnaturalización de las proteínas y/o agregación lo que conduce a una reducción de la fuerza de corte, dureza o fuerza máxima de emulsiones de carne (Colmenero *et al.*, 1995).

Baublits *et al.* (2005) reportaron que no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los valores de cizalla en muestras de carne de vacuno añadidas con diferentes niveles de fosfatos, esto puede estar relacionado con la cantidad relativamente grande de colágeno presente en el bíceps femoral. Sin embargo, Vote *et al.* (2000) observaron disminución de los valores de fuerza de cizallamiento para filetes con diversas concentraciones de NaCl, lactato de sodio, y fosfatos en comparación con los controles. Peng *et al.* (2009) analizaron la adición de cinco niveles de fosfatos (0, 1, 2, 3, 4 y 5 %) en una salchicha elaborada con carne de cerdo, para ver su influencia sobre la dureza y la firmeza de la salchicha, mostrando que la dureza de las muestras aumentaba conforme el nivel de fosfatos añadidos y los días de almacenamiento aumentaban, en cuanto a la firmeza de la salchicha, ésta aumentó cuando se utilizan fosfatos, atribuyendo el efecto de ambas a que los fosfatos aumentan la

capacidad de extracción de proteínas musculares, haciendo la red de gel más fuerte y a la pérdida de agua de la salchicha durante almacenamiento refrigerado.

Por su parte Colmenero *et al.* (1995) reportaron que las salchichas elaboradas con carne tratada a 300 MPa pueden reducir su contenido de fosfatos a 2 % aumentando su firmeza, además de observar una disminución en la dureza de las salchichas de cerdo que contenían 3 % de fosfato tratadas a 300 MPa, esto atribuido al funcional deterioro de la proteína de la carne en comparación con las muestras no tratadas, también aumentó significativamente ($p < 0.05$) la elasticidad de las salchichas tratadas con 150 MPa, así mismo los valores más altos de adhesividad y gomosidad se obtuvieron en muestras que contienen 2.5 % tratadas con AP, también se observaron un aumento en el parámetro de masticabilidad de las salchichas elaboradas con carne de pollo.

5.2.1.6. Color

La Figura 5.21 muestra el análisis de color realizado en SUS y SC.

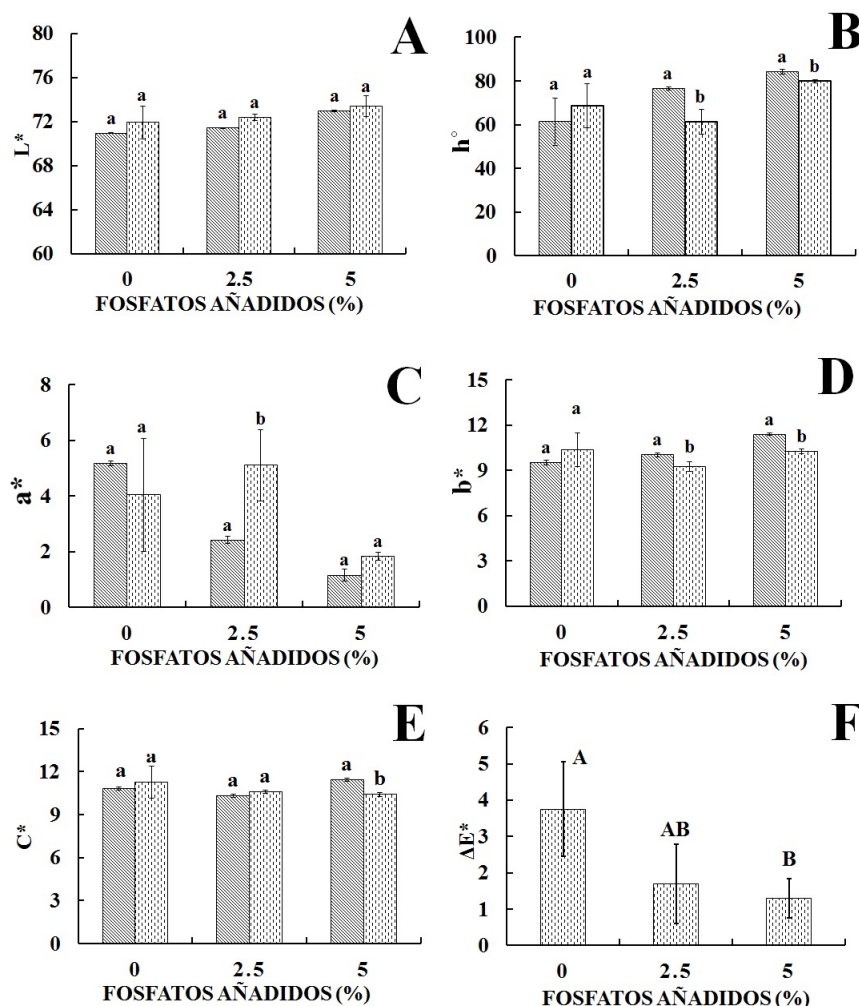


Figura 5.21. Análisis de color en muestras de salchichas elaboradas con carne tratada y no con US: $\square$ SC $\square$ SUS. Valores promedio $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Diferentes letras minúsculas para un mismo porcentaje de fosfatos indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Diferentes letras mayúsculas para un mismo tratamiento indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre el porcentaje de fosfatos añadidos.

La luminosidad (Figura 5.21A) de las SUS y las SC tienden a ir en aumento conforme el nivel de fosfatos va aumentando, sin embargo, no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) para este parámetro. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Hamouz *et al.* (1996) quienes reportaron que los diferentes niveles de fosfatos (2.5 y 5 %) añadidos a muestras de carne de cerdo asado no tuvo ningún efecto sobre la luminosidad de las muestras, en comparación con los controles.

Los valores del tono de la muestra (Figura 5.21B) solo presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) para los niveles de 2.5 y 5 % de fosfato, notando una tendencia en aumento para ambos lotes teniendo tonos rojizos y tendiendo a tonos amarillos, por lo que basados en los resultados obtenidos en la Tabla 5.13 (Apartado 5.1.3.8) podemos inferir que estos cambios en la tonalidad de las SUS y SC se deben al del nivel de fosfatos añadidos únicamente.

La coordenada de color a^* para el lote de SC disminuye conforme el nivel de fosfatos aumenta, sin embargo, solo se notan diferencias significativas ($p < 0.05$) en el nivel de 2.5 %, siendo mayor el valor de a^* para las SUS. En cuanto a la coordenada b^* muestra cambios significativos ($p < 0.05$) en muestras de 2.5 y 5 % de contenido de fosfatos siendo los valores menores para las SUS.

O'Flynn *et al.* (2014b) reportaron un efecto de la interacción AP-fosfatos sobre la coordenada a^* en salchichas de cerdo, observando que la reducción de los fosfatos por debajo del 2.5 % en salchichas tratadas a 150 MPa disminuyó significativamente ($p < 0.05$) el enrojecimiento de las muestras, mismo fenómeno sucede a 300 MPa pero con salchichas elaboradas por debajo del 5 % de contenido de fosfatos. En cuanto a la coordenada b^* , el tratamiento a 150 MPa no afectó significativamente ($p > 0.05$) la amarillez de salchichas, sin embargo, a 300 MPa si se vio afectado este parámetro.

El croma muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) solamente para el nivel de fosfatos del 5 % entre los lotes, siendo menos brillante las muestras de las SUS.

En el análisis de ΔE puede observar que las diferencias de color son mayores en el lote de las SUS cuando el nivel de fosfatos es del 0 %, asimismo cuando el nivel de fosfatos aumenta, las diferencias de color disminuyen, así mismo la norma ISO (2004)/12647-2 especifica que diferencias de color con valores entre 1-2 son mínimamente observables, las cuales tenemos cuando las salchichas se elaboran con 5 y 2.5 % de fosfatos, mientras que cuando se tienen valores entre 2-4 estas diferencias son notorias pero aún son aceptables, es decir, que basados en los resultados obtenidos en la Tabla 5.13 (Apartado 5.1.3.8), donde se observa que el US no influyó en los cambios de color podemos inferir que estos cambios de color son debidos al nivel de fosfato añadidos al lote de SUS.

O'Flynn *et al.* (2014b) observaron que al someter carne de cerdo a un tratamiento con AP a 150 MPa no afecta significativamente ($p > 0.05$) la luminosidad de las salchichas, sin embargo, a 300 MPa estos valores si se ven afectados. Estos resulta-

dos no concuerdan con los obtenidos por Carballo *et al.* (1997) quienes observaron un aumento significativo ($P < 0.05$) en la luminosidad de chorizo elaborado con carne de cerdo tratada a 300 MPa en comparación con los controles, éste tendió hacia tonos más claros lo que se puede atribuir a la presión inducida afectando la coagulación de proteínas sarcoplásmica y/ miofibrilares (Carlez *et al.*, 1995).

Carlez *et al.* (1995) reportaron que el tratamiento de AP a 200 MPa realizado durante 10 minutos no afecta el color de la carne picada, sin embargo, a 400 MPa la luminosidad de la carne aumentó.

En base a estos resultados se puede concluir que el US no afecta las diferencias de color de las muestras de salchichas elaboradas con carne sonicada o sin ningún tratamiento, el cambio de algunos parámetros se puede atribuir más al contenido de fosfatos en las muestras.

5.2.2. Análisis sensorial

Con el fin de proponer una nueva formulación reducida en fosfatos para la elaboración de una salchicha con carne sometida previamente a un tratamiento con US de alta intensidad se realizó un análisis sensorial buscando la aprobación y/o aceptación por parte del consumidor, del cual se presentan los resultados obtenidos a continuación.

Los lotes de SUS y SC elaborados con un 5 % de contenido de fosfato no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$) entre sí, obteniendo una mayor aceptación por parte del consumidor para las SC describiéndola en una la escala de "me gusta mucho", mientras que la SUS no fue del agrado de los jueces, sin embargo, los panelistas la posicionaron en el nivel de "me gusta moderadamente y me gusta poco".

Los lotes elaborados con 2.5 % de contenido de fosfatos para SUS y SC, no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos, teniendo una mayor aceptabilidad las SUS con un nivel de preferencia de "me gusta mucho", el lote de SC en esta misma formulación fue quien presentó la menor aceptación de todas, ya que algunos de los comentarios de los jueces fueron que la textura de dichas salchichas era desagradable, esto debido a un contenido de fosfatos bajo y a que la carne no recibió un tratamiento, además de indicar que se sentían con más humedad que las demás muestras, cuya recomendación fue realizar una mayor homogenización de

la masa y aumentar el tiempo de cocción.

Las SUS y SC elaboradas con un nulo contenido de fosfatos no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$) entre estos lotes, siendo la SC con 0 % de contenido de fosfato quien agrado más a los panelistas, describiéndola en un nivel de "me gusta muchísimo y me gusta mucho", a pesar de la textura que presentaban las muestras por el nulo contenido de fosfatos los comentarios emitidos hacia ésta salchicha fueron que el sabor y el aroma eran agradables, para la SUS los comentarios emitidos no fueron de desagrado, pero la textura fue de los atributos que más influyeron para que los jueces otorgaran el nivel de "me gusta moderadamente y me gusta poco".

Los jueces en general comentaron que no existía una diferencia visual entre los lotes SUS y SC elaborados con 5 y 2.5 % de contenido de fosfatos, además de no existir diferencias significativas ($p > 0.05$) entre estos lotes y el de 0 % de contenido de fosfatos, sin embargo, en éste último lote de SUS y SC, se notaba una textura frágil de las muestras y visualmente el producto no era agradable, no obstante el sabor fue del agrado de los panelistas, lo que los llevo a mencionar que es importante este tipo de proyectos ya que el presentar un producto más natural, sin colorantes ni aditivos añadidos es lo que hoy en día buscan los consumidores, recomendando la agregación de algún otro ingrediente funcional que haga la presentación del producto más agradable a la vista del consumidor.

VI.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo evaluó el efecto del ultrasonido de alta intensidad sobre las propiedades de la carne de cerdo, para posteriormente elaborar un producto cárnico reducido en fosfatos, lo que permitió las siguientes conclusiones.

Etapas I. Tratamiento de carne con ultrasonido

- Los resultados mostraron que existe una mínima influencia del US sobre la CRA y el pH de las muestras a ciertas condiciones de procesamiento, ya que se vieron aumentos de estas propiedades respecto a las muestras control, sin embargo, éstos aumentos no fueron significativos ($p < 0.05$), por lo que se infiere en que la intensidad del US no fue suficiente para causar modificaciones sobre estas propiedades.
- La dureza y el RE de la carne se vieron afectados por el tratamiento con US ya que sus valores fueron reducidos, esto se infirió a que el ultrasonido pudo causar daño a la estructura de la carne, principalmente en el tejido conectivo, generando un ablandamiento de la misma, pero no se dañaron las proteínas miofibrilares por efecto del tratamiento, lo que contribuyó a evitar pérdidas de agua de la matriz cárnica.
- No existieron cambios en el contenido de humedad ni en el color de muestras tratadas con US con respecto a las muestras control. Por otro lado las PPC de muestras tratadas con US aumentaron con respecto a las control, esto debido posiblemente a que no existieron pérdidas de agua de las muestras durante el tratamiento con US, la cual libera dicho contenido de agua al momento de la cocción.
- Se concluyó que las mejores condiciones del proceso fueron el tiempo de 30

minutos a 30°C , ya que a esas condiciones se vieron afectadas ciertas características de la carne de manera favorable para ser utilizada en el siguiente proceso.

Etapas II. Reducción de fosfatos en salchichas

- Los resultados de las salchichas elaboradas con carne sometida al tratamiento con US, muestran que no existieron cambios significativos ($p > 0.05$) en la CRA, no obstante los valores obtenidos fueron altos en las SUS en niveles de fosfatos medio y nulo (2.5 y 0%).
- Los valores de Humedad y Color de las muestras elaboradas con diferentes niveles de fosfatos respecto a las muestras control no presentan cambios significativos ($p > 0.05$) para todos los niveles de fosfatos, sin embargo. Se vio mejorado el pH de las muestras en los tres niveles de fosfatos añadidos, por lo que se puede atribuir este aumento al efecto del tratamiento. La dureza para los niveles de 0 y 2.5 % de fosfatos y firmeza (0, 2.5 y 5 %) de las salchichas se vio mejorada.
- El contenido de proteína no se vio afectado en muestras elaboradas por arriba del 2.5 % de fosfatos, las muestras elaboradas al 0 % y sin tratamiento mostraron valores reducidos de contenido proteico, a diferencia de las elaboradas con carne tratada.
- El análisis sensorial mostró una mayor preferencia de los jueces por la salchicha elaborada sin tratamiento con US y con un 0 % de contenido de fosfato, así como la SC con 5 % de fosfatos, seguida de la SUS con 0 % y la SUS 2.5 % .
- El US de alta intensidad ayuda a mejorar algunas propiedades características de la carne de cerdo lo que la hace apta para un uso posterior, permitiendo la elaboración de un producto cárnico cuyo contenido de fosfatos puede ser reducido hasta en un 50 % (2.5 %) de lo establecido por la norma.

6.2. Recomendaciones

- Colocar la muestra en bolsas de polietileno envasadas al vacío con la finalidad de evitar la solubilización de las proteínas en el agua.
- Realizar un análisis de microestructura de las muestras control y tratadas con US para ver de qué manera está afectando la conformación de las proteínas de la carne.
- Evaluar tiempos más prolongados del proceso de US tipo baño, así como otras temperaturas, para ver mejoras en la CRA y demás propiedades que logre eliminación de fosfatos en la elaboración de productos cárnicos como las salchichas.
- Elaborar una réplica del diseño de experimento pero ahora utilizando un US tipo sonda, donde reportes anteriores han demostrado cambios estructurales en las muestras tratadas debido a la aplicación de una mayor intensidad.
- Se recomienda evaluar la reducción del contenido de sal y fosfatos simultáneamente en la formulación de las salchichas.

REFERENCIAS

- Anson, M.L., & Mirsky, D.A. 1932. The effect of desnaturación on the viscosity of the solutions of certain protein. *The Journal of General Physiology*, **59**, 341–350.
- AOAC. 1997a. Crude Protein in Meat (AOAC Official Method 981.10). *Official Methods of Analysis of AOAC International* 16 ed.
- AOAC. 1997b. Moisture in meat (AOAC Official methods 950.46). *Official Methods of Analysis of AOAC International* 16 ed.
- AOAC. 1997c. Solids total (AOAC Official Method 925.10). *Official Methods of Analysis of AOAC International*.
- Aranberri, I., Binks, B. P., Clint, J. H., & Fletcher, P.D.I. 2006. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, **7**(3), 211–230.
- Awad, T.S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., & Youssef, M.M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, **48**(2), 410–427.
- Baublits, R.T., Pohlman, F.W., Jr, A.H. Brown, & Johnson, Z.B. 2005. Effects of sodium chloride, phosphate type and concentration, and pump rate on beef biceps femoris quality and sensory characteristics. *Meat Science*, **70**(2), 205–214.
- Belitz, H., & Grosch, W. 2001. *Química de los alimentos*. Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Caine, W.R., Aalhus, J.L., Best, D.R., Dugan, M.E., & Jeremiah, L.E. 2003. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*, **64**(4), 333–339.
- Carballo, J., Fernandez, P., Carrascosa, A.V., Solas, M.T., & ., F. Jimenez-Colmenero. 1997. Characteristics of low and high fat beef patties: Effect of high hydrostatic pressure. *Journal of Food Protection*, **60**, 48–53.
- Carlez, A., Veciana-Nogues, T., & Cheftel, J.C. 1995. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *LWT - Food Science and Technology*, **28**(5), 528–538.
- Cerón-Carrillo, T. G., Palou, E., & López-Malo, A. 2010. Pulsos eléctricos: fundamentos y aplicaciones en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería Química*, **4**(1), 9–26.

- Chang, H. J., Xu, X. L., Zhou, G. H., Li, C. B., & Huang, M. 2012. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing. *Food Bioprocess Technology*, **5**(1), 285–297.
- Chang, HJ., Wang, Q., Tang, CH., & Zhou, GH. 2015. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle. *Journal of Food Quality*, **38**(4), 256–267.
- Chemat, F., e Huma, Zill, & Muhammed, K. K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, **18**(4), 813–835.
- Clint, J. H. 1991. *Surfactant aggregation*. New York: Chapman and Hall.
- Colmenero, F.J., Carballo, J., & Solas, M.T. 1995. The effect of the use of freeze-thawed pork on the properties of Bologna sausages with two fat levels. *International Journal of Food Science and Technology*, **30**, 335–345.
- Cárcel, J. A., Benedito, J., Bon, J., & Mulet, A. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, **76**(4), 611–619.
- Crehan, C.M., Troy, D.J., & Buckley, D.J. 2000. Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5 *Meat Science*, **55**(1), 123.
- Díaz-Vela, J., Pérez-Chabela, M.L, & Totosaús, A. 2008. Efecto del pH y de la adición de fosfatos de sodio sobre las propiedades de gelificación y emulsión de surimi de trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, **28**(3), 691–695.
- Dolatowski, Z., Stasiak, D. M., & Latoch, A. 2000. Effect of ultrasound processing of meat before freezing on its texture after thawing. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, **3**(2), <http://www.eipau.media.pl/series/volume3/issue2/engineering/art02.html>.
- Erdogdu, S. Belgin, Erdogan, F., & Ekiz, H. Ibrahim. 2007. Influence of Sodium triphosphate (STP) treatment and cooking time on cook losses and textural properties of red meats. *Journal of Process Engineering*, **30**(6), 685–700.
- Fernández, J.M., Fernández, J., Sayas, E., & Pérez, J. A. 2005. Meat products as functional foods: A Review. *Journal of Food Science*, **70**(2), 37–43.
- Fisher, A. 1994. *Tecnología e higiene de la carne. Tecnología de la producción y elaboración*

- de productos cárnicos*. Vol. 2. Acribia S.A.
- Fornias, O. V., & Díaz, C. V. 1999. Clasificación de los productos cárnicos. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, **13**(1), 63–67.
- Fuentes, L., Acevedo, D., & Gélvez, V. M. 2016. Efecto del ultrasonido y campos magnéticos en la carne de lomo atún (*Thunnus albacares*). *Información Tecnológica*, **27**(2), 21–30.
- Gallego-Juárez, J., Rodríguez, G., Acosta, V., & Riera, E. 2010. Power ultrasonic transducers with extensive radiators for industrial processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, **17**(6), 953–964.
- Gambuteanu, C., Filimon, V., & Alexe, P. 2013. Effects of ultrasound assisted thawing on microbiological, chemical and technological properties of unpackaged pork Longissimus Dorsi. *Annals Food Science and Technology*, **37**(1), 98–107.
- Gaspar, T. V., Calle, S. P., Torres, J. A., & Moreiras, G. V. 2013. Guía nutricional de la carne. *Fundación Española de la Nutrición*.
- Gómez, J. E. 1998. *La carne de cerdo: manual práctico para su comercialización y consumo*. Caracas: Asociación Americana de Soya.
- Gogate, P.R., Tayal, R.K., & Pandit, A.B. 2006. Cavitation: A technology on the horizon. *Current Science*, **91**(1), 35–46.
- Got, F., Culioli, J., Berge, P., Vignonb, X., Astruc, T., Quideau, J.M., & Lethiecq, M. 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Science*, **51**(1), 35–42.
- Grossi, A., Soltoft-Jensen, J., Knudsen, J.C., Christensen, M., & Orlén, V. 2012. Reduction of salt in pork sausages by the addition of carrot fibre or potato starch and high pressure treatment. *Meat Science*, **92**(4), 481–489.
- Hamouz, F., Mandigo, R.W., & Calkins, C.R. 1996. Quality of restructured pork roasts as influenced by salt, phosphate and roasting environment. *Journal of Muscle Foods*, **7**(2), 187–198.
- Heinz, G., & Srisuvan, T. 2001. *Guidelines for humane handling, transport and slaughter of livestock*. Human Society and International.
- Holley, R. A., & Sun, D. 2010. High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products. *Journal of Food Science*, **75**(1), 17–23.
- Hong, G-P, Chun, J-Y, Jo, Y-J, & Choi, M-J. 2014. Effects of water or brine immersion thawing combined with ultrasound on quality attributes of frozen pork loin.

- Korean J. Food Sci. An.*, **34**(1), 115–121.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, **49**(4), 447–457.
- Hughes, E., Cofradesb, S., & Troy, D. J. 1997. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5 *Meat Science*, **45**(3), 273–281.
- Hui, Y. H., Nip, W., Rogers, R. W., & Young, O. A. 2001. *Meat Science and Applications*. Marcel Dekker.
- ISO. 2004. 12647-2. Graphic technology . Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes.
- Jambrak, A.R., Mason, T.J., Lelas, V., Herceg, Z., & Herceg, I.L. 2008. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*, **86**(2), 281–287.
- Jayasooriya, S.D., Torley, P.J., D'Arcy, B.R., & 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.
- Jong, P., & Villamiel, M. 2000. Inactivation of pseudomonas fluorescens and streptococcus thermophilus in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous-flow ultrasonic treatment and conventional heating. *Food Engineering*, **45**(3), 171–175.
- Karakaya, M., Saricoban, C., & Yilmaz, M. T. 2005. The effect of various types of poultry pre- and post-rigor meats on emulsification capacity, water-holding capacity and cooking loss. *European Food Research and Technology*, **220**(3), 283–286.
- Keeton, J.T., Foegeding, E.A., & Patana-Anake, C. 1984. A comparison of non-meat proteins, sodium tri-polyphosphate and processing temperature effects on physical and sensory properties of frankfurters. *Journal of Food Science*, **49**(6), 1462–1465.
- Knipe, C.L., D.G.Olson, & Rust, R.E. 1985. Effects of selected inorganic phosphates, phosphate levels and reduced sodium chloride levels on protein solubility, stability and pH of meat emulsions. *Journal of Food Science*, **50**(4), 1010–1013.
- Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., & Schoessler, K. 2011. Emerging technologies in food processing. *Food Science and Technology*, **2**, 203–235.

- Lawrie, R.A., & Barrado, A.M. 1974. Ciencia de la carne. *ACRIBIA (Zaragoza - España)*, 2 Ed. 456.
- Li, K., Kang, ZL., Zhao, YY., Xu, XL., & Zhou, GH. 2014. Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of batter suspensions prepared from PSE-like chicken breast meat. *Food Bioprocess Technology*, 7(12), 3466–3477.
- Li, K., Kang, ZL., Zou, YF., Xu, XL., & Zhou, GH. 2015. Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat batter. *Food Science and Technology*, 52(5), 2622–2633.
- Lyng, J.G., Allen, P., & McKenna, B.M. 1997. The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. *Journal of muscle foods.*, 8(3), 237–249.
- Lyng, J.G., Allen, P., & McKenna, B.M. 1998. The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe. *J Sci Food Agric*, 78(3), 308–314.
- Mahon, J. H. 1961. Tripolyphosphate-salt synergism and its effect on cured meat volume. *Proc Meat Ind Res Conf, Amer Meat Inst Found, Chicago*, 49, 59–67.
- Mandava, R., Fernandez, I., & M.Juillerat. 1994. Effect of high hydrostatic pressure on sausage batters. *40th International Congress of Meat Science Technology, The Hague, Netherlands*, 2, 14–16.
- Manfugás, J. E. 2007. Evaluación sensorial de los alimentos. *Editorial Universitaria*, 116.
- McClements, D. J., & Gunasekaran, S. 1997. Ultrasonic characterization of foods and drinks: Principles, methods, and applications. Critical Reviews. *Food Science and Nutrition*, 37(1), 1–46.
- McCormick, R. D. 1983. Part I: polyfunctional phosphate-ingredients essential to processed foods. *Processed Prepared Food*, 152, 97–101.
- Molina, D. R., Mejía, C. A., Digiammarco, R. R., & Campuzano, A. A. 2001. *Industria de la carne*. Universidad Nacional de Colombia en la ciudad de Medellín.
- Morel, M.H., Dehlon, P., Autran, J.C., Leygue, J.P., & Bar-Lt'Helgouact'h, C. 2000. Effects of temperature, sonication time, and power settings on size distribution and extractability of total wheat flour proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*, 77(5), 685–691.
- Moulton, K.J., & Wang, L.C. 1982. A pilot-plant study of continuous ultrasonic ex-

- traction of soybean protein. *Journal of Food Science*, **47**(4), 1127–1129.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-122-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias*.
- O'Flynn, C.C., Cruz-Romero, M.C., Troya, D.J., Mullena, A.M., & Kerry, J.P. 2014a. The application of high-pressure treatment in the reduction of phosphate levels in breakfast sausages. *Meat Science*, **96**(1), 633–639.
- O'Flynn, C.C., Cruz-Romero, M. C., Troya, D., Mullen, A. M., & Kerry, J. P. 2014b. The application of high-pressure treatment in the reduction of salt levels in reduced-phosphate breakfast sausages. *Meat Science*, **96**(3), 1266–1274.
- Ozuna, C., Puig, A., Garcia-Perez, J.A., & Cárcel, J. A. 2014. Ultrasonically enhanced desalting of cod (*Gadus morhua*). Mass transport kinetics and structural changes. *LWT - Food Science and Technology*, **59**(1), 130–137.
- Palou, E., Lopez-Malo, A., & Welte-Chanes, J. 2002. Innovative fruit preservation using high pressure. *Engineering and Food for the 21st Century*, **44**, 715–726.
- Peng, W., Xing-lian, XU, & hong ZHOU, Guang. 2009. Effects of meat and phosphate level on water-holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage. *Agricultural Sciences in China*, **8**(12), 1475–1481.
- Piyasena, E. P. 2002. Applications of ultrasound in the food industry: A review. *Agriculture and Agri-Food Canada*, **87**(3), 207–216.
- Pohlman, F. W., Dikeman, M. F., & H, D. H Kropf D. 1997. Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle. *Meat Science*, **46**(1), 89–100.
- Ranken, M.D. 2000. *Handbook of meat product technology*. Osney Mead.
- Restrepo, D. A., adn A. A. Campuzano, C. M. Arango, & Restrepo, R. A. 2001. *Libro de carnes*. Universidad Nacional de Colombia en la ciudad de Medellín.
- Robles, O. L., & Ochoa, M. L. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesode alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, **13**(2), 109–122.
- Sajas, J.F., & Gorbatow, W.M. 1978. The use of ultrasonics in meat technology. *Die Fleischwirtschaft*, **6**, 1009–1021.
- Savadkoohi, S., Shamsi, K., Hoogenkamp, H., Javadi, A., & Farahnaky, A. 2013. Mechanical and gelling properties of comminuted sausages containing chicken MDM. *Journal of Food Engineering*, **117**(3), 255–262.

- Schroeder, D. J. 2013. Effect of vacuum tumbling time, salt level, and phosphate alternatives on processing characteristics of natural deli-style turkey breast. *Theses and Dissertations in Animal Science.*, **12**(1), 75.
- Siró, I., Vén, C., Balla, C., Jónás, G., Zeke, I., & Friedrich, L. 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*, **91**(2), 353–362.
- Smith, N.B., Cannon, J.E., Novakofski, J.E., McKeith, F.K., & Brien, W. D. 1991. Tenderization of semitendinosus muscle using high intensity ultrasound. *Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium*, **2**, 1371–1374.
- Stadnik, J., & Dolatowski, J. 2011. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus). *Eur Food Res Technol*, **233**(4), 553–559.
- Standnik, J., Dolatowsky, Z. J., & Baranowska, H. M. 2008. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing. *LWT- Food Science and Technology*, **41**(10), 2151–2158.
- Sun, D. 2005. Emerging Technologies for Food Processing. *Academic Pr Inc*, 2 Ed. 668.
- Toldrá, Fidel. 2010. Handbook of meat processing. *Wiley-Blackwell*.
- Vigne, J. D., Zazzo, A., Poplin, J. F. Saliègeand F., Guilaine, J., & Simmons, A. 2009. Pre-Neolithic wild boar management and introduction to cyprus more than 11,400 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106**(38), 16135–16138.
- Vote, D.J, Platter, W.J., Tatum, J.D., Schmidt, G.R, Belk, K.E., & Smith, G.C. 2000. Injection of beef strip loins with solutions containing sodium tripolyphosphate, sodium lactate, and sodium chloride to enhance palatability. *Journal of Animal Science*, **78**(4), 952–957.
- Wang, L.C. 1975. Ultrasonic extraction of proteins from autoclaved soybean flakes. *Journal of food science*, **40**(3), 549–551.
- Williams, P. 2007. Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics*, **64**(1), 113–119.
- Yada, R. Y. 2004. *Proteins in food processing*. Woodhead Publishing Limited.
- Young, F. R. 1989. *Cavitation*. Gran Bretaña: Mc Graw Hill.
- Yu, X.L., Li, X.B., Xu, X.L., & Zhou, G.H. 2008. Coating with sodium alginate and its effects on the functional properties and structure of frozen pork. *Journal of*

Muscle Foods, **19**(4), 333–351.

Zheng, L., & Sun, D. 2006. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes: a review. *Trends in Food Science & Technology*, **14**(1), 16–23.

ANEXO I

FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE MUESTRAS DE SALCHICHAS ELABORADAS CON Y SIN ADICIÓN DE FOSFATOS.

FORMATO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL

NOMBRE: _____

EDAD: _____

PRODUCTO: SALCHICHAS CON Y SIN ADICIÓN DE FOSFATOS

FECHA: _____

POR FAVOR PRUEBE LAS MUESTRAS E INDIQUE SU NIVEL DE AGRADO, EN LA ESCALA QUE MEJOR DESCRIBA SU REACCION

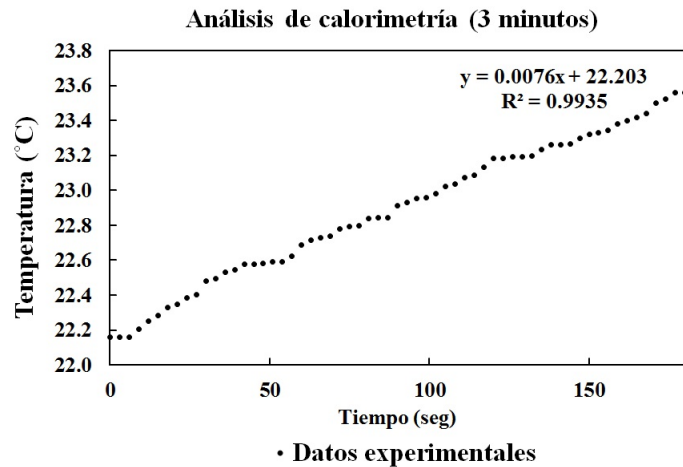
MUESTRA	ESCALA							
	Me gusta muchísimo	Me gusta mucho	Me gusta moderadamente	Me gusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me disgusta poco	Me disgusta moderadamente	Me disgusta mucho
158								
359								
418								
654								
254								
761								

COMENTARIOS: _____

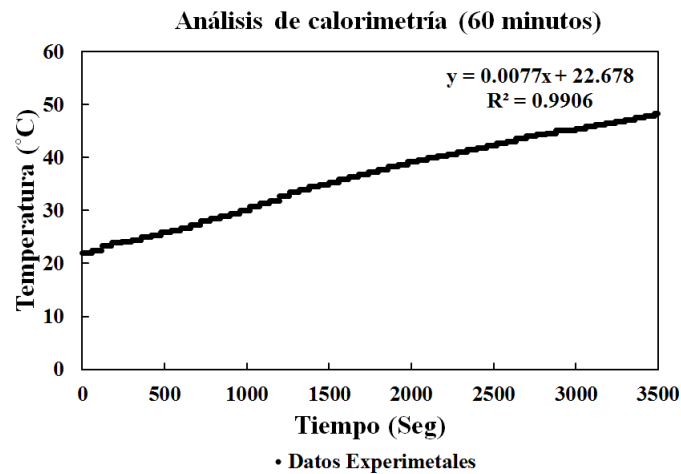
GRACIAS POR SU COLABORACIÓN !

ANEXO II

A.



B.



Potencia de salida del ultrasonido de baño	820 W
Potencia real entregada al medio	128.592 W
Porcentaje de la energía real que se entrega	15.68 %