

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO CURADA Y AHUMADA

POR:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNÁNDEZ

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

ENERO DE 2020



Ultrasonido de alta intensidad en carne de cerdo curada y ahumada. Tesis presentada por Andrea Carnero Hernández como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias, ha sido aprobado y aceptada por:

Ph.D. Carlos Ortega Ochoa
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología

D.Ph. Agustín Corral Luna
Secretario de Investigación y Posgrado

Ph.D. Iván Adrián García Galicia
Coordinador Académico

Dra. Mariana Huerta Jiménez
Presidente

30 de enero 2020.
Fecha

Comité:
Ph.D. Alma Delia Alarcón Rojo
Dr. Nelson Guadalupe Aguilar
Palma
Ph.D. Iván Adrián García Galicia

© Derechos Reservados
AUTOR. ANDREA
CARNERO HERNÁNDEZ
DIRECCIÓN: PERIFÉRICO
FRANCISCO R. ALMADA
KM. 1, CHIHUAHUA,
CHIH., MÉXICO C.P. 31453
ENERO 2020

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a la Dra. Mariana Huerta, principal colaboradora durante todo este proceso. Quien con su dirección, conocimiento y apoyo permitió el desarrollo de este proyecto y contribuyó copiosamente en mi desarrollo personal y profesional.

De igual manera mis agradecimientos a mi comité de tesis, Ph. D Iván García, Ph. D. Alma Delia Alarcón y D. Nelson Aguilar, por apoyarme con sus conocimientos y consejos para el planteamiento y desarrollo de esta investigación.

Gracias a mis padres: Flor de Luz Hernández y Anastacio Carnero, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mí. Por sus consejos y por tenerme una fe y un amor ciego e inigualable.

Agradezco también a Efreeen, mi compañero y mi motivación, por su apoyo incondicional, su ayuda y esfuerzo. Por su paciencia y por nunca dudar de mi capacidad.

A Enrique, Mafer y a mis demás compañeros que estuvieron colaborando y haciendo mucho más ameno este proceso, sin esperar nada a cambio.

Por último, agradezco a la Universidad y a la Facultad por ser una segunda casa y a sus docentes por su apoyo y por compartir su sabiduría y conocimientos. Y, al CONACYT por el apoyo económico brindado a través de la beca de estudios de posgrado.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, como una muestra de que el esfuerzo que han hecho por guiarme, criarme y comprenderme no ha sido en vano. Y lo dedico también a la Dra. Mariana ya que durante la realización de este proyecto ha sido mi mano derecha y mi guía, y porque gracias a su ayuda y a su dedicación esto ha sido mucho menos complicado.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 03 de octubre de 1992 en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México

- | | |
|-------------------|---|
| 2011 - 2015 | Estudios de Licenciatura en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua como Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción. |
| 2017 - 2019 | Estudiante de la Maestría en Ciencias con área mayor en ciencia de la carne, Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua |
| Junio 2018 | Ponencia modalidad cartel en la XLV Reunión Científica de la AMPA, Morelia 2018. |
| Marzo - mayo 2019 | Estancia de investigación en la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid. |
| Junio 2019 | Estancia de investigación en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillos. |
| Octubre 2019 | Artículo "High intensity ultrasound applied on cured pork: sensory and physicochemical characteristics", publicado en la revista Food Science & Nutrition. |

RESUMEN GENERAL

ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO CURADA Y AHUMADA

POR:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNANDEZ

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: D.C. Mariana Huerta Jiménez

Con el objetivo de generar conocimiento sobre los efectos que tiene el ultrasonido de alta intensidad (US) en el curado y ahumado de la carne de cerdo se realizaron dos experimentos. 1) Ultrasonido de alta intensidad en carne de cerdo curada, su efecto sobre características fisicoquímicas. El objetivo de este experimento fue evaluar las características fisicoquímicas en lomo de cerdo curado. Considerando muestras con diferentes espesores (1.25 y 2.5cm), tiempos de inmersión (30 y 90 min) y tipo de inmersión (estática y con US). Se evaluó; porcentaje de NaCl, capacidad de retención de agua (CRA), fuerza de corte, pH y color CIEL*a*b*. El porcentaje de NaCl aumentó significativamente sin modificar las demás características. 2) Asistencia del curado con ultrasonido de alta intensidad en carne de cerdo ahumada, percepción sensorial y

características fisicoquímicas. El objetivo de este experimento fue evaluar la preferencia de los consumidores y las características fisicoquímicas en lomo de cerdo curado y ahumado utilizando dos salmueras (5 y 10% de NaCl) y dos tipos de inmersión (estática y con US). Se realizó un análisis con 90 consumidores mostrando su preferencia sobre la apariencia, sabor y textura de las muestras curadas al 10% de NaCl. Sobre la apariencia, se prefirieron las muestras de inmersión estática. Se evaluaron las características fisicoquímicas de porcentaje de NaCl, CRA, fuerza de corte, pH, color CIEL*a*b*, croma, ángulo Hue y el peso de las muestras evaluadas en la carne post inmersión y ahumada. El peso y el porcentaje de NaCl aumentó en las muestras post inmersión. Sin embargo, las muestras ahumadas no mostraron diferencia significativa. Las muestras se tornaron más amarillas y menos rojas. Se reconoce al US como una tecnología que favorece las características fisicoquímicas de la carne de cerdo curada. Sin embargo, al ahumar las muestras estas ventajas disminuyen. Habrá que considerar el tratamiento que se le dará a la carne curada para conservar estas ventajas.

GENERAL ABSTRACT

HIGH INTENSITY ULTRASOUND IN CURED AND SMOKED PORK MEAT

BY:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNANDEZ

In order to generate knowledge about the effects of high intensity ultrasound (US) in the curing and smoking of pork meat, two experiments were carried out. 1) Effect of high intensity ultrasound on the physicochemical characteristics of cured pork. The objective of this experiment was to evaluate the physicochemical characteristics of cured pork loin. Considering different thicknesses (1.25 and 2.5 cm), immersion times (30 and 90 min) and type of immersion (static and with US). The characteristics evaluated were: NaCl percentage, water retention capacity (CRA), shear force, pH and CIEL*a * b * color. US increased significantly NaCl, without modifying the other characteristics. 2) Assistance of curing with US curing assistance in smoked pork, sensory perception and physicochemical characteristics. The objective of this experiment was to evaluate consumer preference and physicochemical characteristics in cured and smoked pork loin. Using two brines (5 and 10% NaCl) and two types of immersion (static and with US). An analysis was carried out with 90 consumers showing their preference about appearance, taste and texture of the samples cured at 10% NaCl. In appearance, they preferred static immersion samples. The physicochemical variables evaluated were the same, adding weight, chroma and Hue angle. They were evaluated in post immersion

and smoked meat. The weight and percentage of NaCl increased in post immersion samples, however, the smoked samples showed no significant difference. The samples became more yellow and less red. We can recognize the US as a technology that improves the physicochemical characteristics of cured pork, however, when smoking the samples these advantages pumped out. It will be necessary to consider the treatment that will be given to cured meat to preserve these advantages.

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	vi
GENERAL ABSTRACT.....	viii
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE GRÁFICAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Mercado y Consumo de Carne de Cerdo	3
Calidad de la Carne	3
pH	4
Color.....	5
Capacidad de Retención de Agua (CRA)	7
Terneza.....	7
Curado.....	10
Ahumado.....	11
Ultrasonido de Alta Intensidad (US)	12
US en Carne de Cerdo	13
LITERATURA CITADA	16

CAPÍTULO I. ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO CURADA, SU EFECTO SOBRE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	26
RESUMEN	27
ABSTRACT	29
INTRODUCCIÓN	30
MATERIAL Y MÉTODOS	32
Naturaleza y Preparación de las Muestras.....	32
Porcentaje de NaCl.....	32
Análisis de pH.....	33
Análisis de Color	33
Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA).....	33
Determinación de Fuerza de Corte	34
Análisis Estadístico	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
Porcentaje de NaCl.....	36
pH	36
Color.....	39
CRA	39

Fuerza de Corte	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
LITERATURA CITADA	46
CAPITULO II. ASISTENCIA DEL CURADO CON ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO AHUMADA, PERCEPCIÓN SENSORIAL Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUIMICAS	50
RESUMEN	51
ABSTRACT	53
INTRODUCCIÓN	54
MATERIALES Y MÉTODOS	56
Naturaleza y Preparación de las Muestras	56
Tratamientos	56
Análisis Sensorial	60
Porcentaje de NaCl	62
Análisis del pH	62
Análisis del Color	62
Determinación de la CRA	62
Determinación de Fuerza de Corte	63
Análisis Estadístico	63

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
Análisis Sensorial	65
Porcentaje de NaCl	65
Peso	69
pH	69
Color	69
CRA	72
Fuerza de Corte	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
LITERATURA CITADA	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Cambios de color en la carne.....	9
2	Medias y desviaciones estándar (D.E.) de los valores de color CIEL*a*b* en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo post-inmersión	40
3	Medias y desviaciones estándar (D.E.) de la fuerza de corte en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo, N.	43
4	Medias y desviaciones estándar (D.E.) de las características de la carne de cerdo fresca (<i>Longissimus dorsi</i>).....	57
5	Medias y desviaciones estándar (D.E.) del pH en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo post inmersión y ahumado..	71

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Parámetros para medición de color	6
2	Escala descriptiva para la evaluación visual del color en carne de cerdo.....	8
3	Esquema del ahumador.....	59
4	Diagrama del proceso de aplicación de tratamientos.....	61

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	NaCl en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo de dos grosores (1.25 y 2.5 cm), dependiendo el tratamiento de inmersión.....	37
2	pH en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo de dos grosores (1.25 y 2.5 cm), dependiendo el tiempo de inmersión	38
3	CRA en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo de dos grosores (1.25 y 2.5 cm), dependiendo el tratamiento de inmersión	41
4	Preferencia de los consumidores en el análisis sensorial sobre las características de apariencia, sabor y textura, de <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo, dependiendo el tratamiento de inmersión	66
5	Contenido de NaCl en <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo post inmersión y en las muestras ahumadas, dependiendo el tratamiento de inmersión	67
6	Peso de las muestras de <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo post inmersión y ahumadas, dependiendo el tratamiento de inmersión	70
7	. Color en las muestras de <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo ahumadas	73

8	CRA de <i>Longissimus dorsi</i> de cerdo post inmersión y de las ahumado, dependiendo el tratamiento de inmersión..	74
---	---	----

INTRODUCCIÓN GENERAL

La presente investigación estudia el efecto de la aplicación de ultrasonido de alta intensidad (US), durante el curado en húmedo de carne de cerdo (m. *Longissimus dorsi*), sobre las características fisicoquímicas post inmersión y de la carne ahumada, así como el análisis del grado de aceptación de los consumidores de este tipo de productos.

El curado de carne de cerdo en salmuera con US se ha propuesto como una alternativa para incrementar la cantidad de NaCl (Cárcel *et al.*, 2007; Ozuna *et al.*, 2013; McDonnell *et al.*, 2014b; Inguglia *et al.*, 2018) y su distribución (Ozuna *et al.*, 2013; Ojha *et al.*, 2016) dentro de la carne. La aplicación de este proceso permite mejorar la humedad y la capacidad de retención de agua (Siró *et al.*, 2009; Ozuna *et al.*, 2013; McDonnell *et al.*, 2014b). De la misma manera, el US se ha propuesto para mejorar la textura de la carne de cerdo curada (Hong *et al.*, 2014; Ojha *et al.*, 2016), aunque otros autores no han encontrado efectos significativos en esta característica (McDonnell *et al.*, 2014b). Los efectos del US como tecnología asistida en el curado, no son concluyentes y la información sobre los efectos que pueda causar sobre la carne ahumada aún es escasa.

Esta investigación analiza los efectos fisicoquímicos que tiene el US en la carne de cerdo curada y ahumada, con el interés particular de aportar conocimientos sobre el uso en conjunto de dos técnicas de conservación. Por un lado, el US como una tecnología novedosa y no térmica y por el otro lado el ahumado, una técnica ancestral térmica que mejora la vida de anaquel del producto y también proporciona colores y sabores específicos (USDA, 2011;

Kuzelov *et al.*, 2013).

El primer experimento analiza los cambios fisicoquímicos que sufre la carne de cerdo curada asistiendo la inmersión con un US de baño de alta intensidad. El segundo experimento evalúa los efectos de la asistencia del curado con US de sonda de alta intensidad en la carne curada y en la carne curada y ahumada, agregando un análisis sensorial hedónico del producto ahumado con consumidores habituales de este tipo de productos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Mercado y Consumo de Carne de Cerdo

De acuerdo con FIRA en 2017 (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), la producción mundial de carne de cerdo creció a una tasa promedio anual de 1.6 % durante el periodo 2016 – 2017. Al igual que la producción, el consumo mundial de carne de cerdo creció a una tasa promedio anual de 1.6 % durante este periodo. En contexto nacional, se estimó un crecimiento en la producción de 3.8 por ciento y un 4.3 por ciento de incremento en el consumo nacional para el año 2017, esperando que continúe esta tendencia los siguientes años.

La carne de cerdo es un alimento proteico y vitamínico que debe formar parte de una dieta variada, balanceada y saludable (Moctezuma Lopez *et al.*, 2011). Según la USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos), en 2018, la carne de cerdo curada contiene por cada 100 g, 126 kcal, 22.56 g de proteína, 3.78 g de grasa, más de 1600 mg de minerales y vitaminas A, E y D.

Calidad de la Carne

La calidad de la carne es un término genérico para describir las propiedades y percepciones de la carne. Incluye diferentes aspectos como la seguridad alimentaria (higiene microbiológica, ausencia de residuos), los atributos organolépticos (color, terneza, sabor, olor, aspecto), el valor nutritivo (grasa, proteína, enriquecimientos), la calidad tecnológica (pH, capacidad de retención de agua, consistencia grasa) y la calidad social (bienestar animal, medio ambiente). Estas características de suma importancia se pueden ver

afectadas por diversos factores ante y post mortem como la genética, el metabolismo de los cerdos, el transporte, la conducción al sacrificio, la temperatura corporal, la restricción de alimento, el aturdimiento, el sangrado, el escaldado, el enfriamiento de la canal, la duración del proceso de sacrificio, la rapidez en el proceso de congelado, el tipo de empaque y las variaciones en la cadena de frío (Coma and Piquer, 1999; Maltin *et al.*, 2003; Janacua Vidales *et al.*, 2006).

pH

El pH es uno de los principales parámetros a considerar para verificar la calidad de la carne, su valor varía en valores cercanos de 5.4 a 5.9. Un cambio en este factor puede representar alteraciones en características como el color, la capacidad de retención de agua (CRA), entre otras (Hernandez, 2003; Braña *et al.*, 2011).

Existen muchos factores que intervienen en la variación del pH, los más importantes son los que tienen que ver con el proceso de faenado y post faenado, como lo son el estrés al momento del sacrificio y las temperaturas de refrigeración de la canal. Dependiendo de la velocidad de la disminución del pH post mortem y del pH final, se distinguen la carne conocida como DFD (por sus siglas en inglés) que se refiere a carne oscura, firme y seca, debido a su lenta caída del pH puede llegar a tener un valor final de 6 a 6.8 y la carne PSE (por sus siglas en inglés) que se refiere a carne pálida, suave y exudativa, debido a su acelerada caída del pH puede llegar a tener valores finales por debajo de los 5.5. Este tipo de carne PSE, es de mayor prevalencia en cerdos y aves (Braña *et al.*, 2011).

Color

El color de la carne es uno de los principales atributos que influyen en la decisión de compra del consumidor y está determinado por su contenido de la proteína mioglobina. Cuando se combina con oxígeno se convierte en oxihemoglobina y produce un color rojo brillante (Rubio *et al.*, 2013, USDA, 2013).

El contenido de mioglobina varía entre especies animales, la carne de bovinos contiene del 0.3 a 1%, la de porcinos de 0.04 a 0.06%, y la de ovinos de 0.2 a 0.6% (Pérez y Ponce, 2013). De igual manera, el color se ve afectado por factores como la edad, especie, sexo y actividad física del animal (USDA, 2013).

Existen diversas técnicas para medir el color como las espectrofotométricas y los análisis por imágenes, aunque las espectrofotométricas son las más utilizadas debido a la relación que existe entre sus resultados y la percepción del ojo humano (Pérez y Ponce, 2013). Por medio del colorímetro se obtienen las medidas de L^* , a^* y b^* donde L^* se refiere a la luminosidad, a^* tendencia al rojo si su valor es positivo o tendencia al verde si es negativo, y b^* tendencia al amarillo si es positivo y tendencia al azul si es negativo (McGuire, 1992). Para obtener una medida de color más apropiada, se calcula el ángulo de Hue (h) y Chroma (C^*). El ángulo Hue se define como el ángulo entre la hipotenusa y el eje de 0° de a^* , y se refiere al tono del color. Croma se refiere a la saturación o intensidad del color (Little 1975, citado por McGuire, 1992), y se representa como la hipotenusa de un triángulo formado al unir los puntos $(0,0)$, (a^*,b^*) y $(a^*,0)$ (McGuire, 1992). La descripción gráfica de estos parámetros se muestra en la Figura 1.

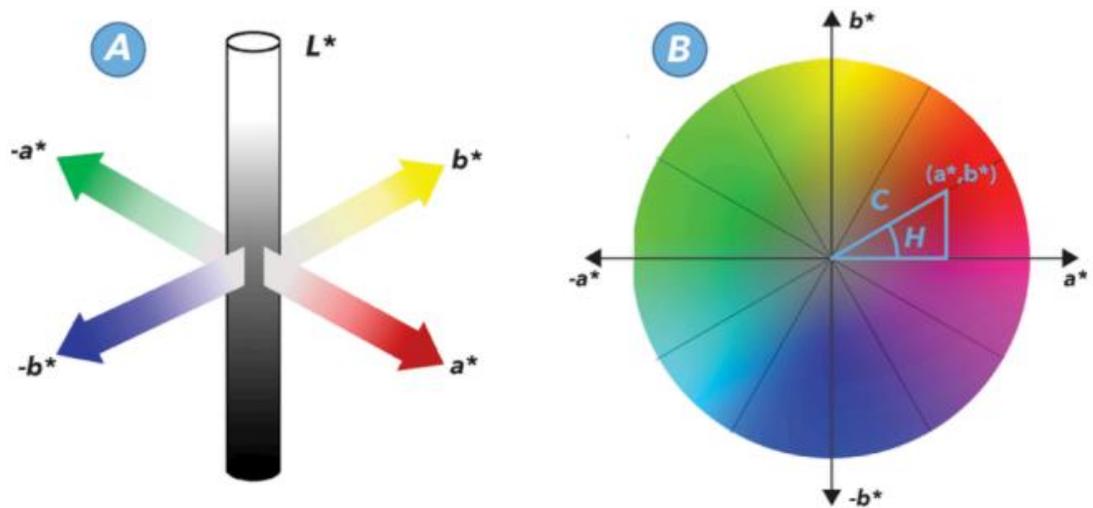


Figura 1. Parámetros para medición de color (Delazio *et al.*, 2017). A) Espacio del color tridimensional CIE $L^* a^* b^*$, donde se muestran los valores de L^* , a^* y b^* . B) Plano bidimensional CIE $a^* b^*$, donde se muestra el valor de croma (C) y al valor del ángulo Hue (H).

Por otra parte, el proyecto 109127 de SAGARPA-CONACYT establece una escala visual de colores para la carne de cerdo que va del 1 al 6 (Figura 2). En donde la categoría 1 es extremadamente pálida y la categoría 6 extremadamente oscura (Rubio *et al.*, 2013). Según la Norma Mexicana NMX-FF-081-2003, el color de la carne de cerdo puede variar en las tonalidades: pálido, ligeramente rosa grisáceo, rosa, rojo claro y rojo oscuro. Estos colores dependen del estado químico de la mioglobina. Algunos ejemplos de los posibles estados de esta proteína combinada con otras sustancias se muestran en el Cuadro 1.

Capacidad de Retención de Agua (CRA)

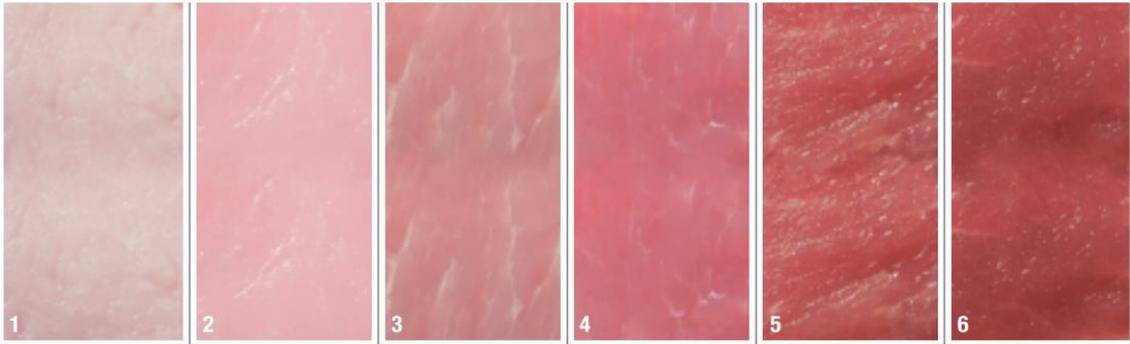
Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene la carne para retener el agua propia y añadida cuando se le somete a un esfuerzo mecánico. Se ve relacionada con su jugosidad, color y terneza (Pérez y Ponce, 2013). Igualmente tiene relación con las propiedades nutricionales del producto, ya que pérdidas importantes de agua acarrearán proteínas, minerales y vitaminas. Es un factor importante en el rendimiento final del producto y la eficiencia del sistema, así como en la aceptabilidad por el consumidor (Miller *et al.*, 2001; Braña *et al.*, 2011).

Terneza

Esta característica sensorial está relacionada con el estado e interacción de las diferentes estructuras que componen el músculo y sus componentes. Es de suma importancia, ya que es una de las cuales el consumidor considera para evaluar su calidad (Braña *et al.*, 2011).

Un estudio realizado por Miller *et al.* (2001) demostró que los

Figura 2. Escala descriptiva para la evaluación visual del color en carne de cerdo
(Rubio *et al.*, 2013)



Cuadro 1. Cambios de color en la carne

Pigmento	Formación	Color
Mioglobina	Desoxigenación de oximioglobina	Rojo púrpura
Oximioglobina	Oxigenación de mioglobina	Rojo brillante
Metamioglobina	Oxidación de mioglobina y oximioglobina	Café
Nitrosomioglobina	Combinación de mioglobina con óxido nítrico	Rojo brillante – rosa
Nitrosometmamioglobina	Combinación de metamioglobina con óxido nítrico	Rojo oscuro
Metamioglobina nitrato	Combinación de metamioglobina con exceso de nitrato	Rojizo - café

(Lawrie, 2006)

consumidores son capaces de segregar diferencias en la carne con respecto a su terneza y que estarían dispuestos a pagar más por la carne más tierna. Debido a esto recomienda realizar algún tratamiento adicional de ablandamiento a la carne que resulte dura, previo a su venta.

Los principales factores que pueden afectar la terneza de la carne son los factores intrínsecos (especie, raza, tipo de músculo, edad), los relacionados con el proceso de sacrificio y los factores post mortem. Como el procesado (Shackelford *et al.*, 1994), la maduración (Miller and Joseph, 1956; Molly *et al.*, 1997; Moya *et al.*, 2001) y la aplicación de tecnologías como el US (Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Gonzalez-Gonzalez *et al.*, 2020)

Curado

Es una de las herramientas de preservación más frecuentemente utilizada y más antigua en la carne de cerdo. Esta técnica consiste en mantener la carne en contacto con una combinación de sales, las cuales pueden ser cloruro de sodio (NaCl), nitritos (NH_2), nitratos (NH_3), sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), diferentes grupos fosfatos, entre otras. El curado puede ser de dos tipos; seco o húmedo. En el curado húmedo las piezas de carne se sumergen en salmuera hasta lograr una buena penetración de la sal.

Durante el curado, existe un flujo de agua y proteínas solubles desde el músculo hacia la salmuera, debido a la mayor presión osmótica de la salmuera. Esto se debe a que la sal, que se difunde hacia adentro, forma un complejo con las proteínas de la carne que tiene una presión osmótica más alta que la salmuera (Baoudou, 1977; Ortiz, 2002; Lawrie, 2006; Siró *et al.*, 2009).

El NaCl deshidrata el alimento, inhibiendo la proliferación de microorganismos, es decir, no los destruye directamente, pero frena su desarrollo al reducir la disponibilidad de agua, efecto similar a la adición de azúcar. El NaCl también mejora el sabor de la carne y solubiliza proteínas miofibrilares (Aguilar, 2012). Los nitritos y nitratos reducen la carga microbiana de diferentes productos cárnicos y también fijan el color por la reacción de la mioglobina con el óxido nítrico. Los fosfatos disminuyen las pérdidas por cocción durante el procesado de productos, tienden a incrementar el pH y aumentan la CRA de la carne (Wierbicki y Howker, 1976).

Debido al tiempo prolongado que requiere el proceso de curado se han buscado técnicas y/o herramientas para acelerar el proceso y reducir tiempos, así como para mejorar la penetración de las sales.

Ahumado

El ahumado de la carne es un proceso que complementa al curado. Consiste en un cocinado lento de la carne colocándola indirectamente sobre el fuego, con una fuente de humo. Este tratamiento es capaz de destruir la mayor parte de las bacterias que se presentan en la carne, debido al proceso térmico (USDA, 2011; Kuzelov *et al.*, 2013).

La NOM-213-SSA1-2002 define al ahumado como el procedimiento en el que se aplica humo a los alimentos para conferir sabor a éstos y reforzar su color, olor o ambos, pudiendo prolongar la vida de anaquel de los mismos.

El humo que produce el ahumado es debido a la combustión de resinas provenientes de maderas de árboles como el nogal, fresno y otros. Y su efecto conservador es debido a que la temperatura provoca la deshidratación del producto con pérdidas del 10 al 40% de humedad, convirtiendo al alimento en un medio poco favorable para el desarrollo de microorganismos. Aunque actualmente la importancia del efecto bactericida del ahumado ha sido sobre pasado por los efectos organolépticos que logra (Aguilar, 2012).

Ultrasonido de Alta Intensidad (US)

Con la finalidad de obtener alimentos menos procesados, seguros y que conserven sus cualidades nutricionales y organolépticas, así como el que presenten valor añadido y una alta calidad nutritiva y sensorial, se han desarrollado nuevas tecnologías en la industria alimentaria. El uso del US es una de ellas (Herrero y Romero de Avila, 2006). Este, genera energía a través de ondas sonoras inaudibles de más de 20,000 vibraciones por segundo (Hoover, 2000).

Los ultrasonidos de potencia se asignan a las aplicaciones de alta intensidad, en donde se utilizan frecuencias acústicas de entre 20 y 100 kHz. En el medio líquido se genera el fenómeno de cavitación gaseosa. Que se refiere a la formación de pequeñas burbujas en los puntos de baja presión de la onda de sonido, debido a que el medio líquido no puede acomodar fácilmente los rápidos cambios en la presión del sistema. El tamaño de las burbujas de cavitación es determinado por la frecuencia del US y el medio líquido puede contener muchos miles de burbujas. La implosión de las burbujas libera la energía acumulada y

genera un choque mecánico afectando la estructura de las células situadas en el microentorno (Herrero y Romero de Avila, 2006; Ochoa, 2012; Kentish y Feng, 2014).

En la industria de la carne este método es eficaz para prolongar la vida de anaquel del producto (Piñon *et al.*, 2018; Alarcon-Rojo *et al.*, 2019; Carrillo-Lopez *et al.*, 2019), para mejorar la terneza de las carnes (Miller and Joseph, 1956; Herrero y Romero de Avila, 2006; González-González *et al.*, 2017; Diaz-Almanza *et al.*, 2019; Peña-Gonzalez *et al.*, 2019; Xiong *et al.*, 2020) y también ha sido propuesto para incrementar la cantidad y la difusión de sal en la carne inmersa en salmuera (Cárcel *et al.*, 2007; Siró *et al.*, 2009; McDonnell *et al.*, 2014a; McDonnell *et al.*, 2014a; Gómez-Salazar *et al.*, 2018; McDonnell *et al.*, 2018; Xiong *et al.*, 2020).

US en Carne de Cerdo

Cárcel *et al.* (2007), encontraron que la aplicación de US (sondas de 0.6 y 1.3 mm), en *Longissimus dorsi* de cerdo curado en salmuera, aumenta significativamente el contenido de humedad y la concentración de NaCl en las muestras, a intensidades de 39 y 51 W/cm², respectivamente, comparadas con muestras sin aplicación de US (estático y con agitación). Otros autores han encontrado resultados similares al asistir el curado de la carne de cerdo con US. Con intensidades de 19 W/cm² por 10, 15, 25 y 40 min se incrementa la cantidad de NaCl y se logra incremento en la humedad en algunos casos (10 o 15 min), con un mínimo impacto en la calidad (McDonnell *et al.*, 2014a; McDonnell *et al.*, 2018). Intensidades de 10.7, 17.1 y 25.4 W/cm² aplicadas por 2 h incrementan la

cantidad de NaCl, en este caso, sin modificar el contenido de humedad (McDonnell *et al.*, 2014b). Aunque el US mejora la transferencia de NaCl no ocurre lo mismo utilizando sustitutos de sal, que la industria cárnica utiliza en productos para personas que pretenden consumir menor cantidad de NaCl en la dieta (Ojha *et al.*, 2016).

Con esta tendencia de obtener productos más saludables, se ha probado el efecto del US en productos reducidos en fosfatos y reducidos en NaCl, Al ser utilizado en emulsiones cárnicas bajas en fosfatos, mejora las propiedades tecnológicas de este tipo de productos sin incrementar la oxidación de lípidos (Pinton *et al.*, 2019). En productos reducidos en NaCl, combinando el US con el uso de agua electrolizada, resulta en emulsiones más estables y en mejor rendimiento de cocción con un perfil de textura similar producto sin reducción de NaCl (Sena Vaz Leães *et al.*, 2020).

También se ha propuesto el uso del US como una alternativa para descongelar carne de cerdo inmersa en salmuera con mayor velocidad. Como resultado de este proceso también se obtiene carne más blanda y con menores pérdidas por cocción (baño de inmersión, 75°C / 15 min). Sin embargo, decolora más la carne comparado con técnicas tradicionales para descongelar (Hong *et al.*, 2014).

El análisis de las interacciones agua - proteína durante el curado asistido con US, demuestran que el US desnaturaliza la miosina de la superficie de la muestra (19 W cm² / 40 min) indicando que el US puede ser un fenómeno superficial que acelera la transferencia de masa de la salmuera a la carne y puede

desnaturalizar proteínas (McDonnell *et al.*, 2014b). Inguglia *et al.* (2018) complementaron el concepto del US como una tecnología de superficie encontrando mayor cantidad de NaCl y mayor repercusión en el color en la porción de la muestra que estaba más próxima a la sonda del US.

Con respecto a los cambios en la terneza que provoca el US asistiendo el curado de la carne de cerdo Ozuna *et al.*, (2013) analizaron los cambios microestructurales en *m. Longissimus dorsi* aplicando US a carne en salmuera con diferentes concentraciones de NaCl. Las salmueras con mayor concentración (>200 kg/m³) disminuyen la terneza y la humedad, y las de menor concentración (50 kg/m³) las aumentan. La sinergia del US con la salmuera con menor concentración resulta con mejoras en la humedad, la terneza, y la concentración y dispersión de NaCl (37.5 W/dm³). Estos cambios se deben a la ruptura y dispersión del tejido conectivo y a una mejora en la difusión efectiva de NaCl y humedad.

Inclusive, los cambios microestructurales favorables que provoca el US y las mejoras en la CRA se han demostrado con intensidades menores (2.5 a 3 W/cm³) Siendo dependientes de la intensidad ultrasónica. Los mejores resultados se muestran usando intensidades mayores, que provocan desnaturalización de proteínas (Siró *et al.*, 2009).

LITERATURA CITADA

Aguilar, J. 2012. Procesos de conservación de alimentos. Primera. (M. E. B. López, editor.). RED TERCER MILENIO S.C., México.

Alarcon-Rojo, A. D., L. M. Carrillo-Lopez, R. Reyes-Villagrana, M. Huerta-Jiménez, and I. A. Garcia-Galicia. 2019. Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrason. Sonochem.* 55:369–382. doi:10.1016/j.ultsonch.2018.09.016.

Andronikov, D., A. Kuzelov, N. Taskov, D. Saneva, A. Janevski, K. Mojsov, and E. Sofijanov. 2015. THE INFLUENCE OF THE CONTENT OF THE BRINE ON THE GROWTH RATE AND THE LOSS OF WEIGHT OF SOME SMOKED PORK PRODUCTS. *Zb. Rad.* 20:269–272.

Baoudou, A. C. 1977. Métodos para curación de carnes. *Acedemia Nac. Agron. y Vet.* 5:1–10.

Braña, D., E. Ramírez, M. Rubio, A. Sánchez, G. Torrescano, M. Arenas, J. Partida de la Peña, E. Ponce, and F. Ríos. 2011. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. Available from: <http://www.anetif.org/files/pages/0000000034/03-manual-de-analisis-de-calidad-en-muestras-de-carne.pdf>

Cárcel, J. A., J. Benedito, J. Bon, and A. Mulet. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76:611–619. doi:10.1016/j.meatsci.2007.01.022.

Carrillo-Lopez, L. M., M. Huerta-Jimenez, I. A. Garcia-Galicia, and A. D. Alarcon-Rojo. 2019. Bacterial control and structural and physicochemical

modification of bovine *Longissimus dorsi* by ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 58:104608. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.05.025. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.025>

Chang, H. J., X. L. Xu, G. H. Zhou, C. B. Li, and M. Huang. 2012. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing. *Food Bioprocess Technol.* 5:285–297. doi:10.1007/s11947-009-0269-9.

Delazio, A., A. Israr, and R. L. Klatzky. 2017. Cross-modal correspondence between vibrations and colors. 2017 IEEE World Haptics Conf. WHC 2017. 219–224. doi:10.1109/WHC.2017.7989904.

Diaz-Almanza, S., R. Reyes-Villagrana, A. D. Alarcon-Rojo, M. Huerta-Jimenez, L. M. Carrillo-Lopez, C. Estepp, J. Urbina-Perez, and I. A. Garcia-Galicia. 2019. Time matters when ultrasonically beef: The best time for tenderness is not the best for reducing microbial counts. *J. Food Process Eng.* 42:1–9. doi:10.1111/jfpe.13210.

FIRA. 2017. Panorama Agroalimentario | Carne de cerdo 2017. 28. Available from: [http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama Agroalimentario Carne de cerdo 2017.pdf](http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf)

Gómez-Salazar, J. A., D. A. Ochoa-Montes, A. Cerón-García, C. Ozuna, and M. E. Sosa-Morales. 2018. Effect of Acid Marination Assisted by Power Ultrasound on the Quality of Rabbit Meat. *J. Food Qual.* 2018. doi:10.1155/2018/5754930.

Gonzalez-Gonzalez, L., A. D. Alarcon-Rojo, L. M. Carrillo-Lopez, I. A. Garcia-Galicia, M. Huerta-Jimenez, and L. Paniwnyk. 2020. Does ultrasound equally improve the quality of beef? An insight into longissimus lumborum, infraspinatus and cleidooccipitalis. *Meat Sci.* 160:107963. doi:10.1016/j.meatsci.2019.107963. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107963>

González-González, L., L. Luna-Rodríguez, L. M. Carrillo-López, A. D. Alarcón-Rojo, I. García-Galicia, and R. Reyes-Villagrana. 2017. Ultrasound as an alternative to conventional marination: Acceptability and mass transfer. *J. Food Qual.* 2017. doi:10.1155/2017/8675720.

Got, F., J. Culioli, P. Berge, X. Vignon, T. Astruc, J. M. Quideau, and M. Lethiecq. 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Sci.* 51:35–42. doi:10.1016/S0309-1740(98)00094-1.

Gou, P., J. Comaposada, and J. Arnau. 2003. NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the Glutens medius muscle of pork ham. *Meat Sci.* 63:29–34. doi:10.1016/S0309-1740(02)00048-7.

Hernandez, A. 2003. *Microbiología Industrial* - Google Libros. 1st ed. Universidad Estatal a Distancia, Puerto Rico. Available from: <https://books.google.com.cu/books?id=KFq4oEQQjdEC&printsec=frontcover&hl=es&rview=1#v=onepage&q&f=false>

Herrero, A., and M. Romero de Avila. 2006. *Innovaciones en el procesado*

de alimentos: Tecnologías no térmicas. REV MED UNIC NAVARRA. 50:71–74.

Hong, G. P., J. Y. Chun, Y. J. Jo, and M. J. Choi. 2014. Effects of water or brine immersion thawing combined with ultrasound on quality attributes of frozen pork loin. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 34:115–121. doi:10.5851/kosfa.2014.34.1.115.

Inguglia, E. S., Z. Zhang, C. Burgess, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2018. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing. *Ultrasonics.* 83:164–170. doi:10.1016/j.ultras.2017.03.017. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.03.017>

Inguglia, E. S., Z. Zhang, B. K. Tiwari, J. P. Kerry, and C. M. Burgess. 2017. Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends Food Sci. Technol.* 59:70–78. doi:10.1016/j.tifs.2016.10.016. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.016>

Janacua Vidales, H., A. D. Alarcón Rojo, J. A. Grado Ahuir, J. G. Gamboa Alvarado, and F. A. Rodríguez Almeida. 2006. Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Técnica Pecu. en México*, ISSN 0040-1889, Vol. 44, N°. 1, 2006, págs. 53-66. 44:53–66.

Kentish, S., and H. Feng. 2014. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 5:263–284. doi:10.1146/annurev-food-030212-182537. Available from: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-030212-182537>

Kuzelov, A., Z. Dimitrovski, D. Naseva, N. Taskov, and D. Andronikov.

2013. Microbiological status of smoked meat products. *Anim. Stud. Vet. Med.* 3.

Lawrie, R. A. 2006. *Lawrie's meat science*. Septima ed. Editorial Woodhead Publishing Limited, Inglaterra.

Mason, T. J., and Peters D. *Practical Sonochemistry*, Second Edition : Power Ultrasound Uses and Applications.

McDonnell, C. K., P. Allen, F. S. Chardonnerau, J. M. Arimi, and J. G. Lyng. 2014a. The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork. *LWT - Food Sci. Technol.* 59:1054–1060. doi:10.1016/j.lwt.2014.05.053. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.053>

McDonnell, C. K., P. Allen, G. Duane, C. Morin, E. Casey, and J. G. Lyng. 2018. One-directional modelling to assess the mechanistic actions of power ultrasound on NaCl diffusion in pork. *Ultrason. Sonochem.* 40:206–212. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.06.025. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.06.025>

McDonnell, C. K., P. Allen, C. Morin, and J. G. Lyng. 2014b. The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat. *Food Chem.* 147:245–251. doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.125. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.125>

McDonnell, C. K., J. G. Lyng, and P. Allen. 2014a. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Sci.* 98:142–149. doi:10.1016/j.meatsci.2014.04.008. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.008>

McDonnell, C. K., J. G. Lyng, J. M. Arimi, and P. Allen. 2014b. The acceleration of pork curing by power ultrasound: A pilot-scale production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 26:191–198. doi:10.1016/j.ifset.2014.05.004. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.05.004>

McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience.* 27:1254–1255.

Miller, M. F., M. A. Carr, C. B. Ramsey, K. L. Crockett, and L. C. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 79:3062–3068. doi:/2001.79123062x.

Miller, M., and K. Joseph. 1956. Chemical Responses of Connective Tissue of Bovine Skeletal Muscle. *Dep. Home Econ. Res. Anim. Husb.* 4:537–542.

Moctezuma Lopez, G., D. Braña Varela, M. M. Pérez Díaz, J. A. Espinosa García, A. Vélez Izquierdo, J. L. Jolalpa Barrera, and G. Martínez Trejo. 2011. Carne de cerdo: elementos a tomar en cuenta para consumir carne de calidad. 40.

Molly, K., D. Demeyer, G. Johansson, M. Raemaekers, M. Ghistelinck, and I. Geenen. 1997. The importance of meat enzymes in ripening and flavour generation in dry fermented sausages. First results of a European project. *Food Chem.* 59:539–545. doi:10.1016/S0308-8146(97)00004-6.

Moya, V. J., M. Flores, M. C. Aristoy, and F. Toldrá. 2001. Pork meat quality affects peptide and amino acid profiles during the ageing process. *Meat Sci.*

58:197–206. doi:10.1016/S0309-1740(00)00152-2.

NOM-213-SSA1-2002. 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. Available from: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/213ssa102.html>

Ochoa, R.-O. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el...
ULTRASONIDO Y SUS APLICACIONES EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS. Rev. Iber. Technol. Postcosecha. 13:109–122. doi:ISSN: 1665-0504.

Ojha, K. S., D. F. Keenan, A. Bright, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2016. Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. Int. J. Food Sci. Technol. 51:37–45. doi:10.1111/ijfs.13001.

Ortiz, A. A. 2002. Elaboración de productos cárnicos 15. Sagarpa. 8. Available from: andre3_apor@yahoo.com

Ozuna, C., A. Puig, J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. A. Cárcel. 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. J. Food Eng. 119:84–93. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016.

Peña-Gonzalez, E., A. D. Alarcon-Rojo, I. Garcia-Galicia, L. Carrillo-Lopez, and M. Huerta-Jimenez. 2019. Ultrasound as a potential process to tenderize

beef: Sensory and technological parameters. *Ultrason. Sonochem.* 53:134–141.
doi:10.1016/j.ultsonch.2018.12.045. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045>

Pérez, M., and E. Ponce. 2013. Tecnología de Carnes. *Rev. Salud Pública México.* 1:27–73.

Piñon, M. I., A. D. Alarcon-Rojo, A. L. Renteria, and L. M. Carrillo-Lopez. 2018. Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound. *Ultrasonics.* doi:10.1016/j.ultras.2018.01.001. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.ultras.2018.01.001>

Pinton, M. B., L. P. Correa, M. M. X. Facchi, R. T. Heck, Y. S. V. Leães, A. J. Cichoski, J. M. Lorenzo, M. dos Santos, M. A. R. Pollonio, and P. C. B. Campagnol. 2019. Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions. *Meat Sci.* 152:88–95. doi:10.1016/j.meatsci.2019.02.010. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.010>

Pohlman, F. W., M. E. Dikeman, and D. H. Kropf. 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 Sci.* 46:89–100. doi:10.1016/S0309-1740(96)00105-2.

Sena Vaz Leães, Y., M. Basso Pinton, C. Terezinha de Aguiar Rosa, S. Sasso Robalo, R. Wagner, C. Ragagnin de Menezes, J. Smanioto Barin, P. Cezar Bastianello Campagnol, and A. José Cichoski. 2020. Ultrasound and basic

electrolyzed water: A green approach to reduce the technological defects caused by NaCl reduction in meat emulsions. *Ultrason. Sonochem.* 61:104830. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104830. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104830>

Shackelford, S. D., M. Koochmaraie, L. V. Cundiff, K. E. Gregory, G. A. Rohrer, and J. W. Savell. 1994. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. *J. Anim. Sci.* 72:857–863. doi:10.2527/1994.724857x.

Siró, I., C. Vén, C. Balla, G. Jónás, I. Zeke, and L. Friedrich. 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *J. Food Eng.* 91:353–362. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015>

Troy, D. J., K. Shikha Ojha, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2016. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *MESC.* 120:2–9. doi:10.1016/j.meatsci.2016.04.002. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.002>

Turhan, S., F. T. Saricaoglu, and F. Oz. 2013. The effect of ultrasonic marinating on the transport of acetic acid and salt in anchovy marinades. *Food Sci. Technol. Res.* 19:849–853. doi:10.3136/fstr.19.849.

USDA. 2011. *Smoking Meat and Poultry.*

USDA. 2018. National Nutrient Database for Standard Reference. Full Report (All Nutrients) 10876 , Pork , cured , ham with natural juices , spiral slice , meat only , boneless , separable lean only , heated , roasted. 1–5.

Wierbicki, E., and J. J. Howker. 1976. Effect of Salt, Phosphates and Other Curing Ingredients on Shrinkage of Lean Pork Meat and the Quality of Smoked Processed Ham. *J. Food Sci.* 41:1116–1121. doi:10.1111/j.1365-2621.1976.tb14399.x.

Xiong, G., X. Fu, D. Pan, J. Qi, X. Xu, and X. Jiang. 2020. Influence of ultrasound-assisted sodium bicarbonate marination on the curing efficiency of chicken breast meat. *Ultrason. Sonochem.* 60:104808. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104808. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104808>

**CAPÍTULO I. ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE
CERDO CURADA, SU EFECTO SOBRE CARACTERÍSTICAS
FISICOQUÍMICAS**

RESUMEN

ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO CURADA, SU EFECTO SOBRE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

POR:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNÁNDEZ

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: D.C. Mariana Huerta Jiménez

El objetivo de esta investigación fue evaluar la transferencia de masa y las características fisicoquímicas de lomo de cerdo (*Longissimus dorsi*) curado por el método de inmersión en una salmuera al 2% de NaCl, con y sin la asistencia de US de baño de alta intensidad (Elmasonic, 37 kHz, 22 W/cm²). Se diseñó un experimento con tres factores: tipo de curado (inmersión con o sin US), tiempo de inmersión (30 ó 90 min) y grosor del músculo (1.25 o 2.5 cm). Se preparó una salmuera al 2% de NaCl y se agregaron 0.5 L a cada muestra contenida en una bolsa de polietileno, manteniendo una temperatura constante de 4 °C ± 1 durante todo el tratamiento. Posteriormente las muestras fueron empacadas al vacío y colocadas en refrigeración, a una temperatura de 4 °C durante 7 días. Cumplido dicho periodo se determinaron las características fisicoquímicas de: porcentaje

de sal, pH, color CIEL*a*b* C*, capacidad de retención de agua (CRA) y esfuerzo al corte. Los resultados mostraron un mayor porcentaje de sal en las muestras tratadas US ($P > 0.05$), mientras que las otras variables de respuesta no fueron afectadas. Por lo tanto, es posible el uso de US de baño para incrementar el contenido de NaCl en las muestras.

ABSTRACT

HIGH INTENSITY ULTRASOUND IN CURED PORK MEAT, ITS EFFECT ON PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS

BY:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNÁNDEZ

The objective of this investigation was to evaluate the mass transfer and physicochemical characteristics of pork loin (*Longissimus dorsi*) cured in a 2% NaCl brine, handling a brine immersion method and a brine immersion assisted by high intensity bath ultrasound method (Elmasonic, 37 kHz, 22 W/cm²). The experiment was designed with three factors: cured type (immersion with or without ultrasound), immersion time (30 or 90 min) and muscle thickness (1.25 or 2.5 cm). A 2% NaCl brine was prepared and 0.5 L was added to each sample contained in a polyethylene bag, maintaining a constant temperature of 4 °C ± 1 throughout the treatment. After their treatment, the samples were vacuum packed and placed in refrigeration, at a temperature of 4 °C for 7 day. Subsequently, the characteristics of: salt percentage, pH, color CIEL* a* b*, water-holding capacity (WHC) and shear force were determined. The results showed a higher percentage of salt in the samples treated with high intensity ultrasound (P>0.05), while the other response variables were not affected. Therefore, it is possible to use a bath US to increase the NaCl content in the samples.

INTRODUCCIÓN

El curado de la carne es una técnica ancestral que se utiliza para optimizar su vida de anaquel, así como mejorar su calidad y sus características sensoriales. Esta técnica consiste en mantener la carne en contacto con una combinación de sales, las cuales pueden ser nitritos (NH_2), nitratos (NH_3), cloruro de sodio (NaCl) y sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) entre otras. Estas sales contribuyen positivamente en las características tecnológicas y sensoriales de la carne. El curado puede ser de dos tipos, seco o húmedo. En el curado húmedo las piezas de carne se sumergen en salmuera hasta lograr una buena penetración de la sal. La utilización de salmuera en la carne es una de las principales tecnologías para la fabricación de productos procesados, ya que mejora la vida útil, sabor, jugosidad y terneza de los productos. (Baoudou, 1977; Ortiz, 2002; Siró *et al.*, 2009; Troy *et al.*, 2016; Inguglia *et al.*, 2017).

El movimiento de la sal y el agua fuera de la carne se rige por varios factores, como el tipo de carne, la concentración de sal y el tiempo de curado (Lawrie, 2006). En la práctica, es necesario un tiempo largo de curado debido a la compleja matriz de la carne, que impide que el NaCl se distribuya uniformemente dentro de los músculo (Gou *et al.*, 2003). Debido a esto, existe interés entre los fabricantes de carne procesada en acelerar la absorción de NaCl u otras sales en la carne, además de lograr perfiles de distribución de sales uniformes (Turhan *et al.*, 2013).

Algunos autores han demostrado que el US mejora, en diferentes aspectos, el curado de la carne de cerdo cuando se asiste con US de alta

intensidad (Cárcel *et al.*, 2007; Ozuna *et al.*, 2013; Hong *et al.*, 2014; McDonnell *et al.*, 2014a; Ojha *et al.*, 2016; Inguglia *et al.*, 2018). En trabajos previos se han referido al uso de US de sonda. En este estudio, el objetivo es observar los cambios en las características fisicoquímicas que tiene el asistir el curado de carne de cerdo con US de baño.

MATERIAL Y MÉTODOS

Naturaleza y Preparación de las Muestras

Se utilizaron cuatro lomos de cerdo, con peso promedio de 11 kg provenientes de Grupo Bafar S.A. de C.V., de la ciudad de Chihuahua, Mex. Los lomos 48 h *post-mortem* fueron recibidos a -20 °C. Se cortaron en rebanadas de 1.25 y 2.5 cm de grosor y fueron re-empacados al vacío durante 7 días. Las muestras fueron descongeladas a 4 °C por 48 h y se procedió a asignar los tratamientos previo aislamiento del músculo y a la eliminación de grasa y tejido conectivo. Cada muestra (1.25 o 2.5 cm) se colocó en una bolsa de polietileno (FAB 20 x 32cm cal. 300) y se le agregó 0.5 L de salmuera conteniendo NaCl al 2%. La inmersión de las muestras en salmuera consistió en dejar las muestras reposar en contacto con la salmuera por 30 o 90 min, volteándolas a la mitad del tiempo. En el caso de la inmersión en salmuera asistida por US se llevó a cabo en un equipo Elmasonic S60H utilizando como medio de acoplamiento agua destilada a 4 °C. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento (8 tratamientos), obteniendo un total de 24 muestras para los análisis fisicoquímicos. Las muestras se almacenaron durante 7 días a 4 °C antes de la medición de las variables respuesta.

Porcentaje de NaCl

Se utilizó un salinómetro digital (ES-421) para determinar la concentración de sal (g/100 g) por el método de conductividad. Se maceraron 10 g de muestra y se les añadió 90 mL de agua destilada. La medición se realizó por triplicado. El valor obtenido en el equipo se multiplicó por 10 para obtener el porcentaje de sal.

Análisis de pH

Se midió con un potenciómetro digital de punción (HI 99163) según Honikel (1998). La introducción del electrodo en el músculo se realizó de forma perpendicular a la muestra a 2 cm de profundidad, evitando contacto con la grasa o el tejido conectivo residual. Determinando el pH de cada muestra con la media de 3 lecturas tomadas en tres sitios distintos del músculo.

Análisis de Color

Se obtuvieron los parámetros de color CIEL*a*b oxigenando previamente la muestra por 20 min. Se utilizó un colorímetro (Konica Minolta, CR 400, USA). La medición se llevó a cabo bajo el sistema de referencia CIE (Commission Internationale Pour l'Éclairage) (Alberti *et al.*, 2005), de acuerdo a la metodología de la AMSA (2012). Se eliminó el tejido conectivo y la grasa visible de la superficie del músculo, oxigenando la muestra por 20 min. La medición se realizó por triplicado.

Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Se determinó por el método de compresión propuesto por Tsai y Ockerman (1981). Se pesaron aproximadamente 0.3 g de muestra utilizando una balanza analítica con resolución de ± 0.05 g, colocándola entre papel filtro no. 54 (marca Whatman®), previamente pesado, y, a su vez, entre dos placas de metacrilato, siendo sometido a compresión con un peso constante de 10 kg durante 20 min.

Transcurridos los 20 min se pesó el papel filtro para registrar la CRA de acuerdo a la siguiente ecuación:

% Capacidad de retención de agua = (100- Agua libre), donde:

$$\text{Agua libre} = \frac{\text{Peso final del papel filtro} - \text{Peso inicial del papel filtro}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

Realizando tres mediciones por muestra.

Determinación de Fuerza de Corte

La medición se realizó según la AMSA (1995). Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas y se cocinaron en baño María (ISOTEMP 215) hasta alcanzar los 72 °C en el centro geométrico de la muestra, posteriormente se drenaron y almacenaron a 4°C durante 24 h. Se obtuvieron nueve cilindros de 1 cm de diámetro (en forma paralela a las fibras musculares). Los cilindros se cortaron perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares utilizando la cuchilla Warner-Bratzler forma V (Stable Micro Systems TA-XT plus). Los parámetros establecidos para la prueba fueron: velocidad de 2 mm s⁻¹, y una distancia de 30 mm. El pico máximo de fuerza fue registrado durante el ensayo y expresado en Newtons (N).

Análisis Estadístico

Se realizó un diseño factorial, considerando el tiempo de inmersión (30 y 90 min), el grosor de las muestras (1.25 y 2.5 cm) y el tipo de inmersión (TC y US), así como su interacción. Con el modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \rho_j + \gamma_k + \tau\rho_{ij} + \tau\gamma_{ik} + \rho\gamma_{jk} + \tau\rho\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde y_{ijk} es la variable de respuesta de cada una de las mediciones, τ_i es el efecto del tiempo de inmersión, ρ_j el efecto del grosor de las muestras, γ_k

el efecto del tipo de inmersión, $\tau\rho_{ij}$ el efecto de la interacción del tiempo de inmersión con el grosor de las muestras, $\tau\gamma_{ik}$ el efecto de la interacción del tiempo de inmersión con el tipo de inmersión, $\rho\gamma_{jk}$ el efecto de la interacción del grosor de las muestras con el tipo de inmersión, $\tau\rho\gamma_{ijk}$ el efecto de la interacción de los tres tratamientos y ε_{ijkl} el error experimental.

Las medias de los tratamientos fueron comparadas por el estadístico de Tukey utilizando un $P < 0.05$.

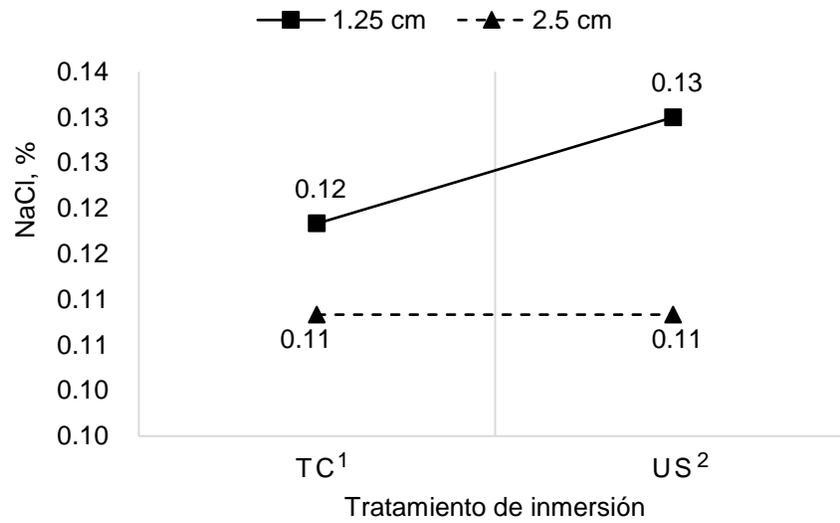
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de NaCl

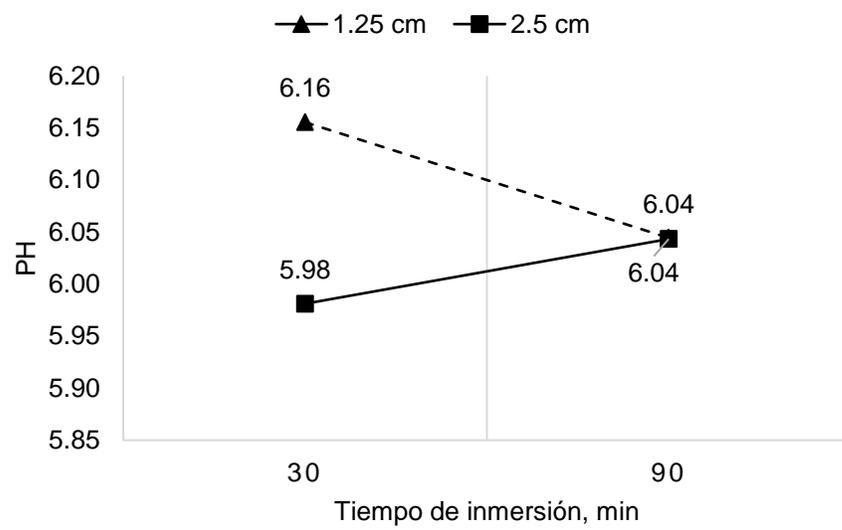
El efecto del grosor de las muestras en conjunto con la aplicación de US mostró un efecto significativo ($P < 0.05$) (Gráfica 1). El tratamiento con las muestras más delgadas (1.25 cm) obtuvo un mayor porcentaje de NaCl, con una media de $0.13 \pm 0.048\%$. Posiblemente porque la relación del volumen con la superficie de contacto de la carne con la salmuera permite una mayor transferencia de NaCl en los cortes de más delgados. Las muestras tratadas con US mostraron un mayor contenido de NaCl, lo que concuerda con otros autores (Siró *et al.*, 2009, Ozuna *et al.*, 2013, Ojha *et al.*, 2016). El US genera ondas sonoras vibratorias que, en el medio líquido (salmuera), genera el fenómeno de la cavitación. La cavitación es la formación de pequeñas burbujas, cuya implosión libera la energía acumulada y genera el choque mecánico con su microentorno generando la formación de micro agitación en la salmuera y micro canales en la carne y provocando dicho incremento en la cantidad de NaCl (Herrero and Romero de Avila, 2006; Ochoa, 2012; Kentish and Feng, 2014).

pH

Se encontró un efecto significativo en la interacción del grosor con el tiempo de inmersión ($P < 0.05$), como se muestra en la Gráfica 2. Debido a la cantidad de NaCl contenido las muestras de 1.25 cm que se sometieron a inmersión por 30 min fueron las de mayor pH (6.15 ± 0.07). Por otro lado, el tratamiento con US no mostró una diferencia significativa ($P < 0.05$) concordando con resultados de otros autores (McDonnell *et al.*, 2014a).



Gráfica 1. NaCl en *Longissimus dorsi* de cerdo de dos grosores (1.25 y 2.5 cm), dependiendo el tratamiento de inmersión. ¹ Inmersión estática. ² - Inmersión asistida con ultrasonido (22 W/cm²).



Gráfica 2. pH en *Longissimus dorsi* de cerdo de dos grosores (1.25 y 2.5 cm), dependiendo el tiempo de inmersión

Color

Los resultados sobre el color se muestran en el Cuadro 2. La inmersión de las muestras en salmuera con US no provocó modificaciones en el color, en comparación con la inmersión TC. Lo que concuerda con McDonnell *et al.* (2014) y contrasta con lo observado por autores que utilizaron carne de bovino inmersa en agua destilada (Pohlman *et al.*, 1997; Chang *et al.*, 2012). La mioglobina es el principal compuesto que brinda las características del color en la carne. Al colocar la carne en contacto con agua (inmersión), se provoca su dilución, ya que es una proteína soluble en agua. El contenido de mioglobina varía entre especies animales. La carne de bovino contiene del 0.3-1% y la de porcinos de 0.04-0.06%. Lo que podría explicar por qué en res existe un mayor cambio en el color cuando es inmersa y asistida con US, en comparación con la carne de cerdo.

CRA

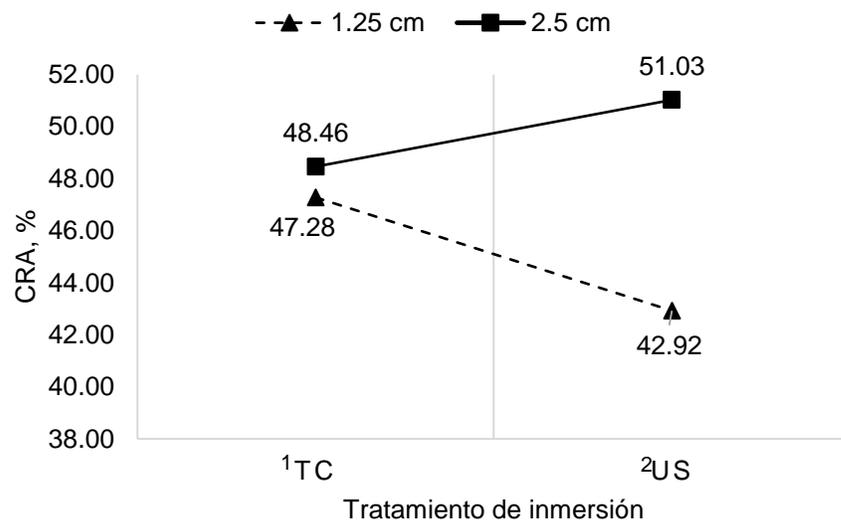
La interacción del grosor con el tipo de inmersión resultó significativa ($P < 0.05$), como se muestra en la Gráfica 3. Las muestras de 2.5 cm con el efecto de US obtuvieron el mayor porcentaje de CRA con una media de 51.0 ± 4.6 %. Los iones de NaCl que entran a la estructura de la carne hinchan las proteínas miofibrilares. Se colocan en forma de nube alrededor de los filamentos cambiando su concentración local y aumentando la presión osmótica dentro de las miofibrillas, hinchándose (Siró *et al.*, 2009; McDonnell *et al.*, 2014a).

Las muestras más delgadas (1.25 cm) mostraron mayor cantidad de NaCl, pero sus fibras tienen menor longitud que las muestras gruesas (2.5 cm), siendo más susceptibles a sufrir daño por el efecto mecánico del aplastamiento, en

Cuadro 2. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de los valores de color CIEL*a*b* en *Longissimus dorsi* de cerdo post-inmersión

		L*		a*		b*	
Tratamiento		Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
Grosor de la carne	1.25 cm	56.35 _a	0.89	3.37 _b	0.74	6.00 _b	0.43
	2.5 cm	52.22 _a	1.94	5.29 _a	0.86	7.77 _a	1.28
Tiempo de inmersión	30 min	56.46 _a	1.39	4.70 _a	1.19	7.26 _a	1.53
	90 min	56.11 _a	1.61	3.97 _b	1.28	6.51 _b	0.93
Tipo de inmersión	TC ¹	56.54 _a	1.56	4.62 _a	1.34	6.97 _a	1.37
	US ²	56.03 _a	1.41	4.05 _a	1.17	6.81 _a	1.27

^{a, b} Letras distintas entre tratamientos indican que existe diferencia significativa (P<0.05). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (22 W/cm²)



Gráfica 3. CRA en *Longissimus dorsi* de cerdo de dos grosores (1.25 y 2.5 cm), dependiendo el tratamiento de inmersión. ¹ Inmersión estática. ² - Inmersión asistida con ultrasonido (22 W/cm²).

comparación con las muestras más gruesas. Esto explica porque las muestras más gruesas con US fueron las que obtuvieron mayores valores de CRA.

Fuerza de Corte

La aplicación de US no presentó efecto sobre esta característica ($P>0.05$), los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3. Este resultado difiere de lo obtenido por otros autores (Siró *et al.*, 2009; Ozuna *et al.*, 2013). El US aumenta la cantidad de NaCl en la carne y entre mayor sea la cantidad de NaCl, mayor será su esfuerzo al corte (Ozuna *et al.*, 2013). En este estudio que incrementó la cantidad de NaCl, no aumentó el esfuerzo al corte. Probablemente esto se deba a que la concentración de NaCl no fue suficiente para observar cambios en la ternura de la carne.

El efecto del grosor de la muestra resultó con diferencias significativas ($P<0.05$), siendo la de 2.5 cm la que resulta en un mayor esfuerzo al corte. Lo que coincide con Panea *et al.* (2008), quienes demostraron que a mayor grosor (1, 2 y 4 cm) en la muestra de carne de res, se requiere un mayor esfuerzo de corte.

Cuadro 3. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de la fuerza de corte en *Longissimus dorsi* de cerdo, N.

Tratamiento		Media	D.E.
Grosor de la carne	1.25 cm	1.18 ^b	0.12
	2.5 cm	1.40 ^a	0.16
Tiempo de inmersión	30 min	1.31 ^a	0.20
	90 min	1.27 ^a	0.17
Tipo de inmersión	TC ¹	1.30 ^a	0.18
	US ²	1.28 ^a	0.19

^{a, b} Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05). ¹ Inmersión estática. ² -Inmersión asistida con ultrasonido (22 W/cm²).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso del US como método de asistencia en el curado logró incrementar la transferencia de NaCl en lomo de cerdo (*Longissimus dorsi*) inmerso en salmuera con una concentración de 2% de NaCl, sin generar diferencias significativas en las características fisicoquímicas de la carne como lo son el pH, el color y la CRA. Estos resultados son relevantes, ya que estas características que proporcionan la calidad, son importantes tanto para la adquisición del producto por el consumidor, como para su procesamiento.

Es necesario contemplar que en la industria el curado de carne de cerdo no es solo con NaCl, sino que se agregan diversas sales a la salmuera. Por lo que se recomienda que se realicen estudios considerando la adición de más ingredientes en la salmuera.

Normalmente, después del curado, la carne se somete a diferentes procesos. Ya que los estudios citados en este trabajo y los análisis realizados en el mismo solo contemplan a la carne curada. Se recomienda evaluar los efectos que tendrá este tratamiento realizando los procesos completos tradicionales que se practican en esta clase de producto.

Por último, se observó que el US provoca incremento en la temperatura del medio, se requiere utilizar algún método para controlarla. En el US de baño se colocó agua con hielo y sumergido en estos, la carne con la salmuera dentro de una bolsa. La función de la bolsa es evitar contaminación o dilución de la salmuera. Es decir, entre el baño y la carne se encontraban el agua con hielo y la bolsa. Para evitar estas barreras entre el US y la muestra se considera que la

aplicación de US provisto de sonda sería más efectiva ya que la sonda entra en contacto directo con la salmuera y el agua con hielo se coloca al exterior del recipiente que contenga la carne con la salmuera.

LITERATURA CITADA

- Baoudou, A. C. 1977. Métodos para curación de carnes. *Acedemia Nac. Agron. y Vet.* 5:1–10.
- Cárcel, J. A., J. Benedito, J. Bon, and A. Mulet. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76:611–619. doi:10.1016/j.meatsci.2007.01.022.
- Chang, H. J., X. L. Xu, G. H. Zhou, C. B. Li, and M. Huang. 2012. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing. *Food Bioprocess Technol.* 5:285–297. doi:10.1007/s11947-009-0269-9.
- Gou, P., J. Comaposada, and J. Arnau. 2003. NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the Glutens medius muscle of pork ham. *Meat Sci.* 63:29–34. doi:10.1016/S0309-1740(02)00048-7.
- Herrero, A., and M. Romero de Avila. 2006. Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *REV MED UNIC NAVARRA.* 50:71–74.
- Hong, G. P., J. Y. Chun, Y. J. Jo, and M. J. Choi. 2014. Effects of water or brine immersion thawing combined with ultrasound on quality attributes of frozen pork loin. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 34:115–121. doi:10.5851/kosfa.2014.34.1.115.
- Inguglia, E. S., Z. Zhang, C. Burgess, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2018. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound

assisted meat curing. *Ultrasonics*. 83:164–170.
doi:10.1016/j.ultras.2017.03.017.

Inguglia, E. S., Z. Zhang, B. K. Tiwari, J. P. Kerry, and C. M. Burgess. 2017. Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends Food Sci. Technol.* 59:70–78. doi:10.1016/j.tifs.2016.10.016.

Kentish, S., and H. Feng. 2014. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 5:263–284.
doi:10.1146/annurev-food-030212-182537. Available from:
<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-030212-182537>

Lawrie, R. A. 2006. *Lawrie's meat science*. Septima ed. Editorial Woodhead Publishing Limited, Inglaterra.

Mcdonnell, C. K., P. Allen, F. S. Chardonnerau, J. M. Arimi, and J. G. Lyng. 2014. The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork. *LWT - Food Sci. Technol.* 59:1054–1060. doi:10.1016/j.lwt.2014.05.053.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.053>

McDonnell, C. K., J. G. Lyng, and P. Allen. 2014. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Sci.* 98:142–149.
doi:10.1016/j.meatsci.2014.04.008.

Ochoa, R.-O. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el... *ULTRASONIDO Y SUS APLICACIONES EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS*. *Rev. Iber. Tecnol. Postcosecha.* 13:109–122. doi:ISSN: 1665-0504.

Ojha, K. S., D. F. Keenan, A. Bright, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2016. Ultrasound

assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. *Int. J. Food Sci. Technol.* 51:37–45. doi:10.1111/ijfs.13001.

Ortiz, A. A. 2002. Elaboración de productos cárnicos 15. Sagarpa. 8. En: andre3_apor@yahoo.com

Ozuna, C., A. Puig, J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. A. Cárcel. 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *J. Food Eng.* 119:84–93. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016.

Pohlman, F. W., M. E. Dikeman, and D. H. Kropf. 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 Sci.* 46:89–100. doi:10.1016/S0309-1740(96)00105-2.

Siró, I., C. Vén, C. Balla, G. Jónás, I. Zeke, and L. Friedrich. 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *J. Food Eng.* 91:353–362. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015.

Troy, D. J., K. Shikha Ojha, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2016. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *MESC.* 120:2–9.

doi:10.1016/j.meatsci.2016.04.002.

Turhan, S., F. T. Saricaoglu, and F. Oz. 2013. The effect of ultrasonic marinating on the transport of acetic acid and salt in anchovy marinades. *Food Sci. Technol. Res.* 19:849–853. doi:10.3136/fstr.19.849

**CAPITULO II. ASISTENCIA DEL CURADO CON ULTRASONIDO DE
ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO AHUMADA, PERCEPCIÓN
SENSORIAL Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUIMICAS**

RESUMEN

ASISTENCIA DEL CURADO CON ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN CARNE DE CERDO AHUMADA, PERCEPCIÓN SENSORIAL Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUIMICAS

POR:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNÁNDEZ

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: D.C. Mariana Huerta Jiménez

El objetivo de esta investigación fue evaluar la preferencia de los consumidores y las características fisicoquímicas de lomo de cerdo (*Longissimus dorsi*, 5 x 8 x 2.5 cm, longitud x ancho x alto, respectivamente) con diferente tipo de curado y ahumado. El curado se llevó a cabo con dos salmueras (5 y 10% de NaCl) y dos métodos de inmersión (estática, TC y con ultrasonido de alta intensidad, US) por 30 min. Posterior al curado, las muestras se ahumaron, enfriaron y empacaron al vacío para dejarlas madurar por 7 d. Se midió el peso, pH, porcentaje de NaCl, CRA, esfuerzo al corte y color CIEL*a*b*, Chroma y ángulo Hue en las muestras post inmersión y en las muestras ahumadas. El análisis sensorial se realizó con 90 consumidores, evaluando su preferencia en

las características de apariencia, sabor y textura de los tratamientos al 10% de NaCl. El peso y el NaCl aumentó significativamente ($P < 0.05$) en las muestras post inmersión. Sin embargo, las muestras ahumadas no mostraron diferencia significativa. Las muestras ahumadas se tornaron más amarillas y menos rojas. Los consumidores mostraron preferencia por las muestras TC sobre su apariencia. Se puede asentar que el US genera ventajas utilizándolo durante el curado del lomo de cerdo. No obstante, es necesario tomar en cuenta el tratamiento que se le dará a la carne curada, ya que, el ahumado provocó pérdida de estas ganancias previas.

ABSTRACT

CURED ASSISTED BY HIGH INTENSITY ULTRASOUND ON SMOKED PORK MEAT, SENSORY PERCEPTION AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS

BY:

I.Z.S.P. ANDREA CARNERO HERNÁNDEZ

The objective of this research was to evaluate consumer preference and physicochemical characteristics of cured and smoked pork loin (*Longissimus dorsi*). With two brines (5 and 10% NaCl) and two immersion methods, static (TC) and with US. Muscle was cut on slabs of 5 x 8 x 2.5 cm (length x width x height). The immersion was for 30 minutes. After curing, the samples were smoked, cooled and vacuum packed to leave them ripe for 7 days. Weight, pH, percentage of NaCl, CRA, shear force and CIEL*a*b* color, chroma and Hue angle were measured in post-immersion samples and smoked samples. Sensory analysis was performed with 90 consumers, evaluating their preference in appearance, taste and texture characteristics of the 10% NaCl treatments. Weight and NaCl increased in samples post immersion. However, smoked samples have no significant differences. The smoked samples became more yellow and less red. Consumers preferred TC samples on appearance characteristic. It can be stated US improves cured pork meat. However, it is necessary to think about the treatment that will be given to cured meat, because, in this case, smoking caused the loss of these vantages.

INTRODUCCIÓN

Durante el curado de la carne el US tiene la capacidad de provocar cambios en su estructura, debido a que genera el fenómeno de cavitación gaseosa en el medio líquido. Este fenómeno fue descrito por Mason y Peters (2002) como la formación de pequeñas burbujas en los puntos de baja presión de la onda de sonido. El tamaño de las burbujas de cavitación es determinado por la frecuencia del US, donde el medio líquido puede contener miles de burbujas. La implosión de las burbujas libera la energía acumulada y genera un choque mecánico afectando la estructura de las células del microentorno (Siró *et al.*, 2009).

En estudios anteriores, solo se ha tomado en cuenta la utilización de NaCl como soluto en la salmuera en tratamientos asistidos con US, sin tomar en cuenta otros ingredientes como nitratos, nitritos, sacarosa, conservadores y fosfatos (Cárcel *et al.*, 2007; Ozuna *et al.*, 2013; Hong *et al.*, 2014; McDonnell *et al.*, 2014a; Ojha *et al.*, 2016; Inguglia *et al.*, 2018)

Por otra parte, el ahumado de la carne es un proceso que complementa el curado. Se define como el procedimiento por el que se aplica a los alimentos humo para conferir sabor a éstos y reforzar su color, olor o ambos, pudiendo prolongar la vida de anaquel de los mismos. Consiste en un cocinado lento de la carne colocándola indirectamente sobre el fuego, con una fuente de humo. Este tratamiento es capaz de destruir la mayor parte de las bacterias que se presentan en la carne, debido al proceso térmico (NOM-213-SSA1-2002, 2002; USDA, 2011; Kuzelov *et al.*, 2013).

Hasta ahora la información sobre los efectos que pueda causar el asistir el curado de la carne de cerdo con US de alta intensidad sobre la carne ahumada son nulos.

En este sentido, el primer objetivo de este estudio fue documentar el cambio que experimenta en sus características físico-químicas el músculo *Longissimus dorsi* curado en salmuera asistido con US de sonda de alta intensidad, inmediato al término del tratamiento de inmersión y posterior a un proceso de ahumado y maduración. Un segundo objetivo fue evaluar la preferencia de los consumidores habituales de este producto en las características de sabor, textura y apariencia al implementar este proceso.

Los resultados permitirán expandir el conocimiento sobre la utilización del US de alta intensidad asistiendo el curado de la carne de cerdo y sus repercusiones en el producto ahumado logrando esclarecer algunos de sus beneficios y limitantes en su aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Naturaleza y Preparación de las Muestras

Se realizó un experimento utilizando el músculo *Longissimus dorsi* de cerdos de la craza Duroc x Yorkshire, con un peso promedio al sacrificio de 120 ± 10 kg obtenida de un proveedor local. Los lomos fueron recibidos a -20 °C y se procedió a cortarlos en rebanadas de 2.5 cm, transversales a las fibras musculares. Se aleatorizaron y se empacaron al vacío. 24 h previas a la aplicación del tratamiento, las piezas se descongelaron a una temperatura de 4 °C. Las rebanadas descongeladas se cortaron para aislar el músculo y obtener piezas de tamaño y peso similar. En este proceso se formaron placas de 5 x 8 x 2.5 cm, de longitud x ancho x alto respectivamente, siempre evitando la grasa y el tejido conectivo. Las muestras mostraron y características similares, como se muestra en el Cuadro 4

Tratamientos

Se diseñó un experimento factorial 2 x 2, tomando en cuenta dos diferentes concentraciones de NaCl en la salmuera (5 y 10%) y dos tipos de inmersión (Estática o control, TC y con ultrasonido, US). En cada tratamiento se realizaron cinco repeticiones. Se utilizó un nivel de significancia de $P < 0.05$.

Se prepararon dos salmueras con diferente concentración de NaCl. Los ingredientes para todos los tratamientos fueron: 20 g de nitritos, 10 g de azúcar estándar, 3 g eritorbato de sodio, 30 g de polifosfatos y 1 L de agua purificada. A la salmuera de baja concentración de NaCl se le agregaron 50 g de NaCl (5%) mientras que a la de alta concentración 100 g (10%); manteniendo una

Cuadro 4. Medias y desviaciones estándar (D.E.) de las características en la carne de cerdo fresca (*Longissimus dorsi*)

Característica	Media	D.E.
Peso, g	84.45	8.81
<i>Color</i>		
L	51.88	3.45
a*	7.33	1.54
b*	6.03	1.67
C	9.52	2.12
Ángulo Hue	39.99	4.26
<i>Fisicoquímicas</i>		
pH	5.67	0.14
CRA, %	59.68	2.90
Fuerza de corte, kg	2.95	0.50

temperatura constante de 4°C durante la preparación de las salmueras y aplicación de los tratamientos.

La inmersión se llevó a cabo por 30 min. El tratamiento US (106 W/cm²) se aplicó a una distancia de 3 cm entre la sonda y la muestra.

Cada muestra se colocó en un vaso de precipitado con 300 ml de salmuera. Como medio de acoplamiento se usó agua purificada, con hielo y sal para mantener una temperatura de 5±2 °C. El volteo de la muestra se realizó a los 15 min de inmersión. Al concluir la inmersión se tomó la muestra de carne, se empacó al vacío y se mantuvo a 4°C.

Para el proceso de ahumado (Figura 3), se retiró el empaque plástico de las muestras y se colocaron en malla elástica. La temperatura interna en el ahumador fue de 100±10°C con una humedad del 40-70%. Las muestras se retiraron del ahumador al alcanzar una temperatura de 62 ± 2 °C en su centro geométrico, aproximadamente 70 min después de iniciado el proceso. Se retiró la malla y se dejaron llegar a temperatura ambiente, para luego empacarlas al vacío y dejarlas madurar por un periodo de 7 d a una temperatura de 4 °C.

Para el análisis sensorial se utilizó la carne ahumada, madurada y cocinada a la parrilla de los tratamientos TC 10% y US 10%. Las variables de pH, color, capacidad de retención de agua (CRA), fuerza de corte y peso, fueron medidas en la carne fresca, en la carne después del tratamiento de inmersión y en la carne ahumada y madurada. El porcentaje de NaCl en las muestras, fue cuantificado posterior al tratamiento de inmersión y en la carne

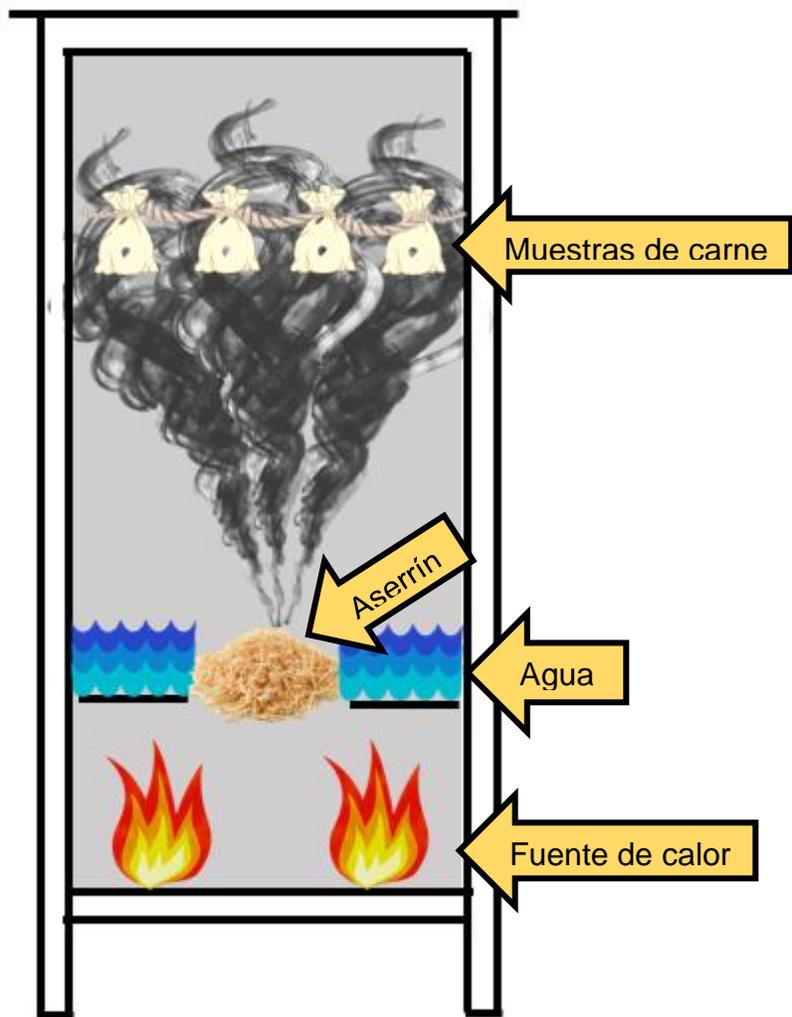


Figura 3. Esquema del ahumador

ahumada y madurada.

En la Figura 4 se puede apreciar una descripción Gráfica de todo el proceso de aplicación de los diferentes tratamientos.

Análisis Sensorial

Terminando los 7 d de maduración a 4°C, las muestras fueron cocinadas en una parrilla eléctrica hasta alcanzar los 72°C en el centro geométrico de la muestra. Se realizó un análisis de preferencia pareado con 90 consumidores. Los consumidores indicaron su muestra preferida en las características de: apariencia, textura y sabor. Las evaluaciones se realizaron en cabinas individuales, manteniendo una temperatura de 60°C en las muestras

Porcentaje de NaCl

La determinación de NaCl en la carne se realizó por el método de Mohr con modificaciones. Se utilizó 25 g de muestra molida en un vaso de precipitado de 250 ml con 50 ml de agua destilada. Se hirvió la muestra durante dos minutos y se dejó enfriar. Se transfirió la muestra a un matraz aforado de 100 ml, enjugando el vaso y añadiendo el agua de lavado al matraz. Se aforó con agua destilada y se filtró a través de papel Whatman 4. Se pipetearon 5 ml del filtrado en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se añadieron tres gotas de dicromato de potasio. Se tituló con nitrato de plata 0.1 N, hasta obtener coloración anaranjada. Se calcula NaCl por la ecuación: %NaCl = ml de AgNO₃ 0.1 N x 0.467

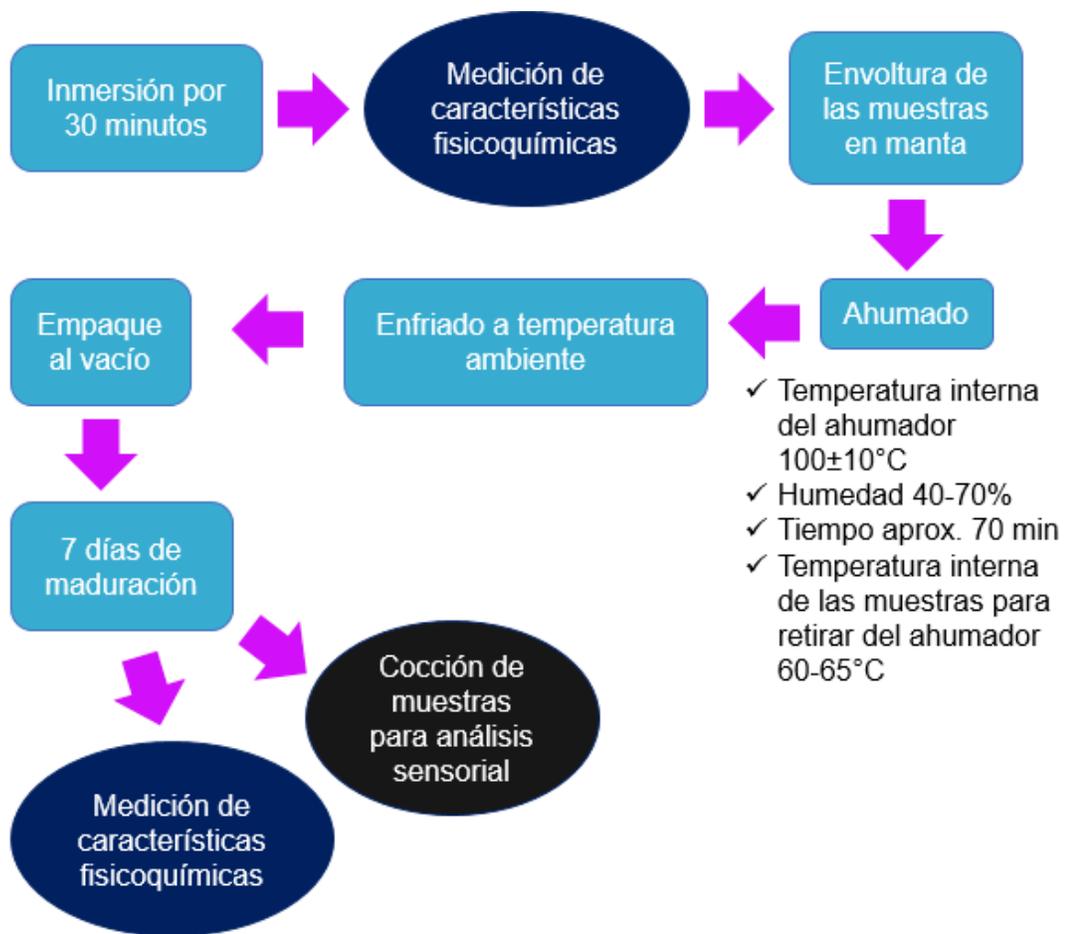


Figura 4. Diagrama del proceso de aplicación de tratamientos

Análisis del pH

Se midió con un potenciómetro digital de punción (HI 99163) según Honikel (1998). La introducción del electrodo en el músculo se realizó de forma perpendicular a la muestra a 2 cm de profundidad, evitando contacto con la grasa o el tejido conectivo residual. Determinando el pH de cada muestra con la media de 3 lecturas tomadas en tres sitios distintos del músculo.

Análisis del Color

Se obtuvieron los parámetros de color CIEL*a*b*, croma (C*) y ángulo Hue (h) con un colorímetro (Konica Minolta, CR 400, USA) oxigenando previamente la muestra por 20 min. La medición se llevó a cabo bajo el sistema de referencia CIE (Commission Internationale Pour l'Éclairage), de acuerdo con la metodología de la AMSA (2012). La medición se realizó por triplicado.

Determinación de la CRA

La CRA se determinó por el método de compresión propuesto por Tsai y Ockerman (1981). Se pesaron aproximadamente 0.3 g de muestra utilizando una balanza analítica con resolución de ± 0.05 g, colocándola entre papel filtro no. 54 (marca Whatman), previamente pesado; y a su vez entre dos placas de metacrilato, siendo sometido a compresión con un peso constante de 10 kg durante 20 min.

Transcurridos los 20 min se pesó el papel filtro para registrar la CRA de acuerdo a la siguiente ecuación:

% Capacidad de retención de agua = (100- Agua libre), donde:

$$\text{Agua libre} = \frac{\text{Peso final del papel filtro} - \text{Peso inicial del papel filtro}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

Realizando tres mediciones por muestra.

Determinación de Fuerza de Corte

La determinación de la fuerza de corte se realizó según la AMSA (1995). Las muestras se colocaron en bolsas plásticas y se cocinaron a “baño María” (ISOTEMP 215) hasta alcanzar los 72 °C en el centro geométrico de la muestra. Posteriormente se drenaron, se dejaron reposar a temperatura ambiente para posteriormente almacenarse a 4 °C durante 24 h. Transcurrido dicho tiempo se obtuvieron nueve cilindros de 1.25 cm de diámetro (en forma paralela a las fibras musculares) con ayuda de un sacabocados mecánico. A continuación, los cilindros fueron cortados perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares utilizando la cuchilla Warner- Bratzler (Stable Micro Systems TA-XT plus). Los parámetros establecidos para la prueba fueron: velocidad de 2 mm s⁻¹, y una distancia de 30 mm. El pico máximo de fuerza fue registrado durante el ensayo y expresado en Newtons (N)

Análisis Estadístico

La prueba sensorial se analizó por medio del análisis X². Y para los resultados fisicoquímicos se realizó un análisis de varianza a través de un diseño factorial 2 x 2, considerando el tipo de inmersión (TC y US) y la concentración de la salmuera (5% y 10%), así como su interacción, con el modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \rho_j + \tau\rho_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde y_{ijk} es la variable de respuesta de cada una de las mediciones, τ_i es el efecto del tipo de inmersión, ρ_j el efecto de la salmuera, $\tau\rho_{ij}$ el efecto de la interacción del tipo de inmersión con la salmuera y ε_{ijk} el error experimental.

Las medias de los tratamientos fueron comparadas por el procedimiento de Tukey, utilizando un $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

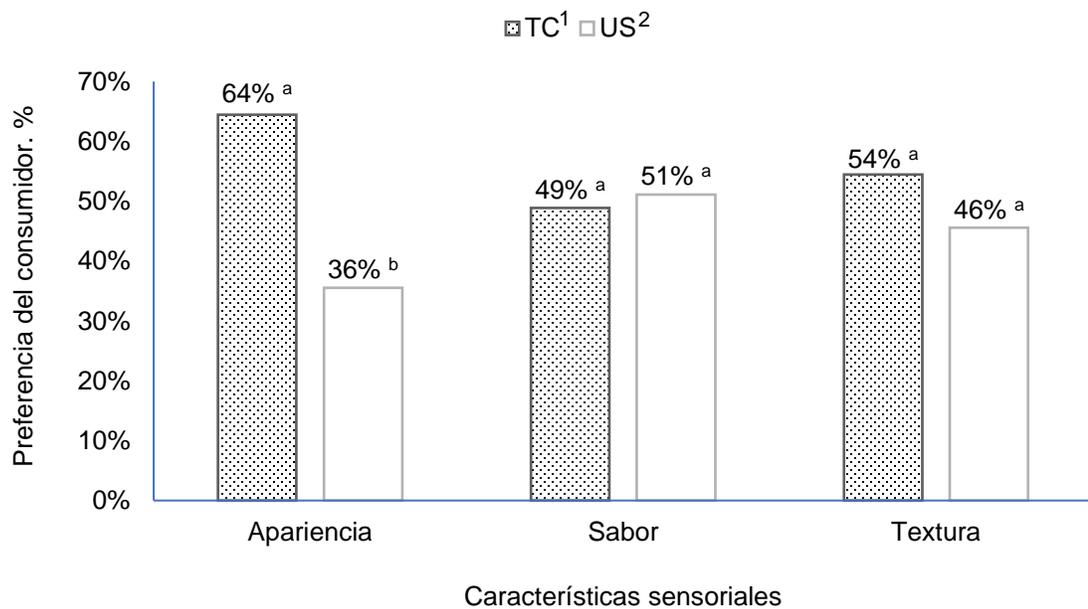
Análisis Sensorial

La preferencia de los consumidores con respecto a las características de apariencia, sabor y textura de la carne curada con la salmuera con 10% de NaCl se aprecia en la Gráfica 4. Las muestras de carne que fueron curadas con la asistencia US fueron significativamente menos preferidas por los consumidores por su apariencia ($P < 0.05$). Mientras que las características de sabor y textura no se vieron significativamente afectadas ($P < 0.05$). Esto posiblemente es debido a las variaciones en el color que sufren las muestras con el tratamiento, haciéndolas menos atractivas al consumidor. Sin embargo, al momento de saborearlas y masticarlas no percibieron diferencia entre los tratamientos.

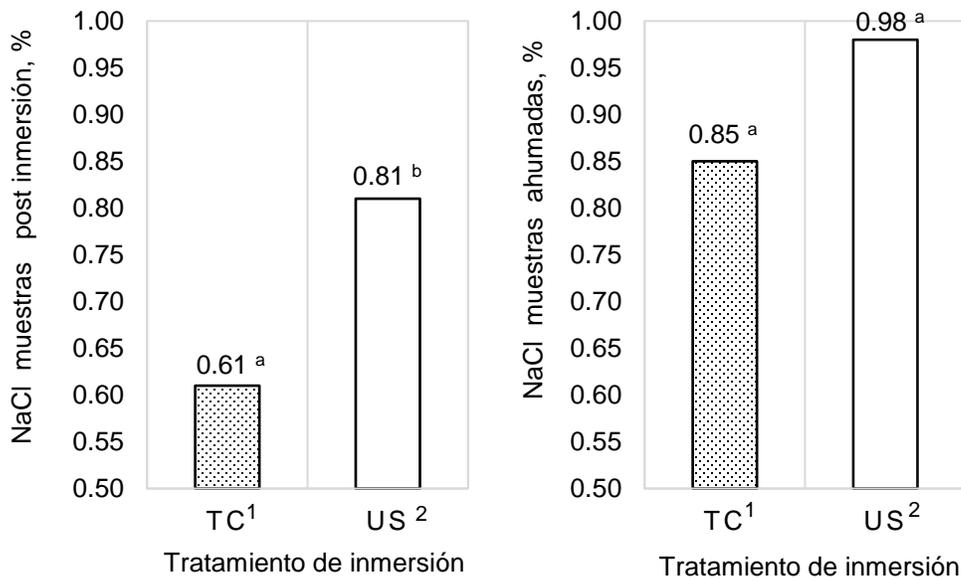
Porcentaje de NaCl

La salmuera con concentración de 10% de NaCl se logró difundir en mayor cantidad al interior de las muestras. Esto debido a la mayor disponibilidad de solutos en la solución. Este resultado se observó tanto en las muestras post inmersión como en las muestras ahumadas.

Por su parte, el tratamiento con US actuó de manera contradictoria ya que mostró un aumento significativo ($P < 0.05$) en las muestras post inmersión y en las muestras ahumadas no fue así (Gráfica 5). En las muestras post inmersión el contenido de NaCl aumentó significativamente de un 0.61 a un 0.81 con la aplicación del US ($P < 0.05$). Logrando un promedio del 24.76% de aumento en la cantidad de NaCl presente en la muestra. Dicho aumento concuerda con el experimento descrito en el capítulo I y con lo obtenido por otros autores quienes



Gráfica 4. Preferencia de los consumidores en el análisis sensorial sobre las características de apariencia, sabor y textura, de *Longissimus dorsi* de cerdo, dependiendo el tratamiento de inmersión. ^{a, b} Letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (106 W/cm²).



Gráfica 5. Contenido de NaCl en *Longissimus dorsi* de cerdo post inmersión y en las muestras ahumadas, dependiendo el tratamiento de inmersión. ^{a, b} Letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (106 W/cm²).

le atribuyen este aumento al fenómeno de la cavitación, la micro agitación y la formación de micro canales provocado por el US (Ojha *et al.*, 2016, Siró *et al.*, 2009, Ozuna *et al.*, 2013). Después de llevar a cabo el proceso de ahumado, las muestras TC obtuvieron una media de 0.86 y las muestras US de 0.98. El aumento observado en las muestras post inmersión disminuyó después de haberse ahumado a un promedio del 12.98%, sin considerarse como un aumento significativo ($P < 0.05$).

La pérdida del NaCl se atribuye al proceso térmico que conlleva el ahumado. Este proceso deshidrata la carne eliminando el agua propia de la carne, y la añadida en forma de salmuera. Provocando pérdida de nutrientes y pérdida de peso por evaporación (Andronikov *et al.*, 2015). Después de este tratamiento solo permanecerá el agua y las sales que estén fuertemente ligadas a la estructura. Esto explica que el aumento de NaCl en la carne post inmersión no se encontraba fuertemente ligada a la estructura por lo que se redujo al ahumarse.

Los resultados de este trabajo nos ayudan a considerar el uso del US como una herramienta en el curado de la carne de cerdo. Sin embargo, ya que las ventajas obtenidas disminuyeron al momento de aplicarle el proceso térmico que conlleva el ahumado, se recomienda considerar el tratamiento posterior que se le dará al producto curado. Así como, seguir evaluando diferentes variables para encontrar las condiciones óptimas en la cual podamos beneficiarnos con el uso de esta tecnología.

Peso

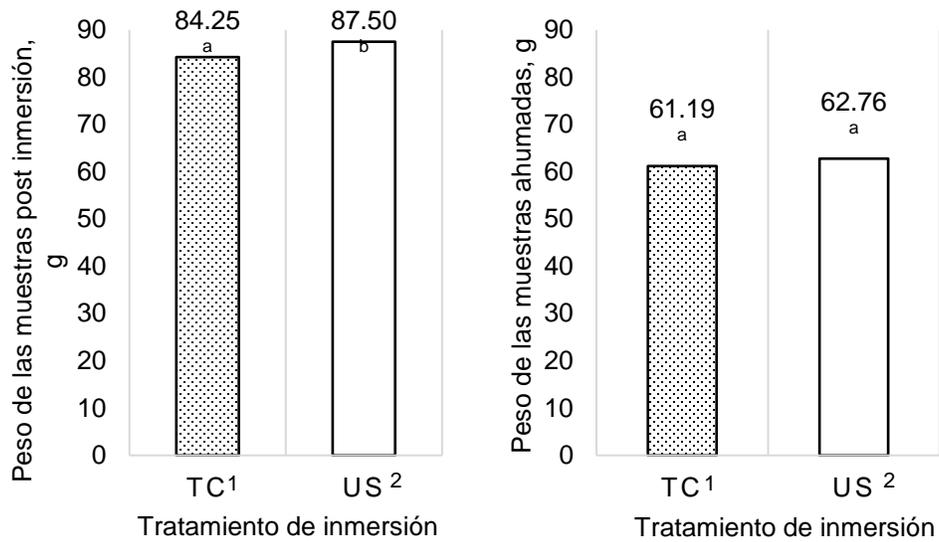
Esta característica en las muestras post inmersión tratadas con US mostraron un aumento significativo ($P < 0.05$) con respecto a las muestras con inmersión estática. De un promedio de 84.25 g con el tratamiento TC, a uno de 87.50 g con el tratamiento US. Las muestras ahumadas no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) en su peso según el tratamiento de inmersión. Como se mencionó anteriormente, es probablemente debido a que la salmuera que ganaron las muestras al momento del curado asistido con US estaba débilmente ligada al tejido y al momento del tratamiento térmico esta ganancia se perdió. (Gráfica 6)

pH

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 5. El tratamiento con US no arrojó ninguna diferencia significativa ($P < 0.05$) con respecto a esta característica. Lo que concuerda con los resultados obtenidos en el capítulo I y por otros autores (McDonnell *et al.* 2014; Got *et al.* 1999).

Color

Ninguna característica de color se vio afectada ($P < 0.05$) en las muestras post inmersión debido a la aplicación de US. Lo que concuerda con capítulo I y con McDonnell *et al.* (2014). En cambio, en las muestras ahumadas, las características de a^* , b^* , croma y ángulo Hue se vieron significativamente diferentes por la aplicación del US ($P < 0.05$). El a^* del TC fue de 15.41, comparado con 12.43 del US ($P < 0.05$). La b^* post inmersión fue afectada por la diferente



Gráfica 6. Peso de las muestras de *Longissimus dorsi* de cerdo post inmersión y ahumadas, dependiendo el tratamiento de inmersión. ^{a, b} Letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (106 W/cm^2).

Cuadro 5. Medias y desviaciones estándar (D.E.) del pH en *Longissimus dorsi* de cerdo post inmersión y ahumado.

Tratamiento	Carne post inmersión		Carne ahumada	
	Media	D.E.	Media	D.E.
TC	5.90 ^a	0.16	6.14 ^a	0.23
US	5.91 ^a	0.14	6.16 ^a	0.15
5%	5.87 ^a	0.13	6.23 ^a	0.20
10%	5.94 ^a	0.16	6.08 ^a	0.20

^{a, b} Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (106 W/cm²).

concentración de NaCl. En las muestras ahumadas se detectó una interacción significativa ($P < 0.05$) donde US 10% mostró el mayor valor (17.42).

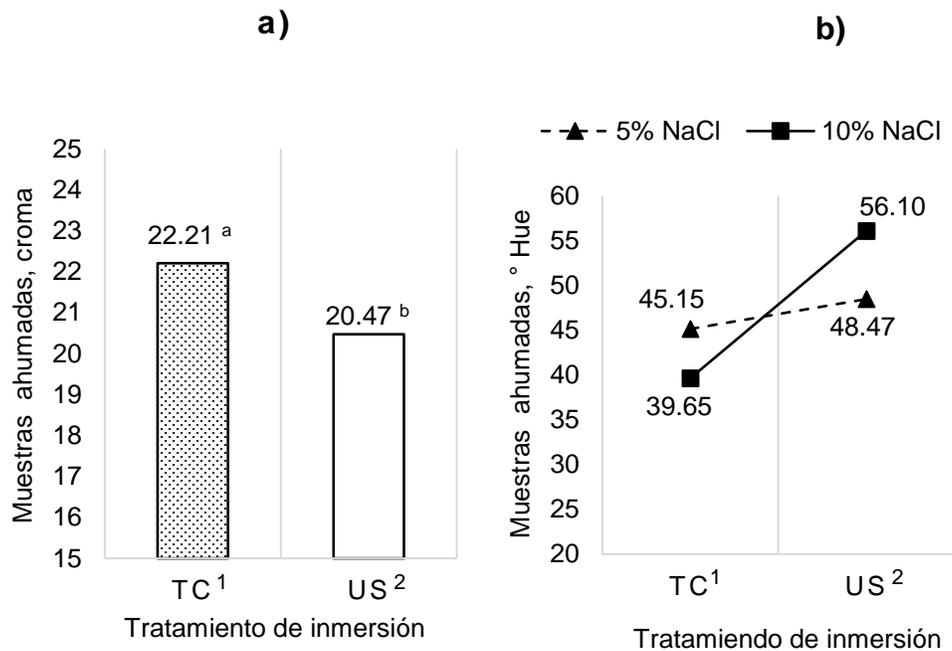
En la Grafica 7 se observa que el valor del ángulo Hue se vio significativamente aumentado ($P < 0.05$) en el tratamiento US 10%, con un promedio de 56.10, debido posiblemente a las variaciones de a^* y b^* . Indicando que las muestras tratadas con US se aproximan a tonos más amarillos y menos rojos. Con la saturación (C^*) del color ocurrió algo similar, las muestras tratadas con US mostraron una saturación significativamente menor (20.47) ($P < 0.05$) a las muestras tratadas con inmersión estática (22.21).

Este cambio en el color de las muestras se explica debido a que en el tratamiento térmico las muestras se deshidratan y como las muestras tratadas con US llegaron al proceso de ahumado con una mayor cantidad de salmuera, podemos pensar que la salida de la salmuera arrastró consigo pigmentos.

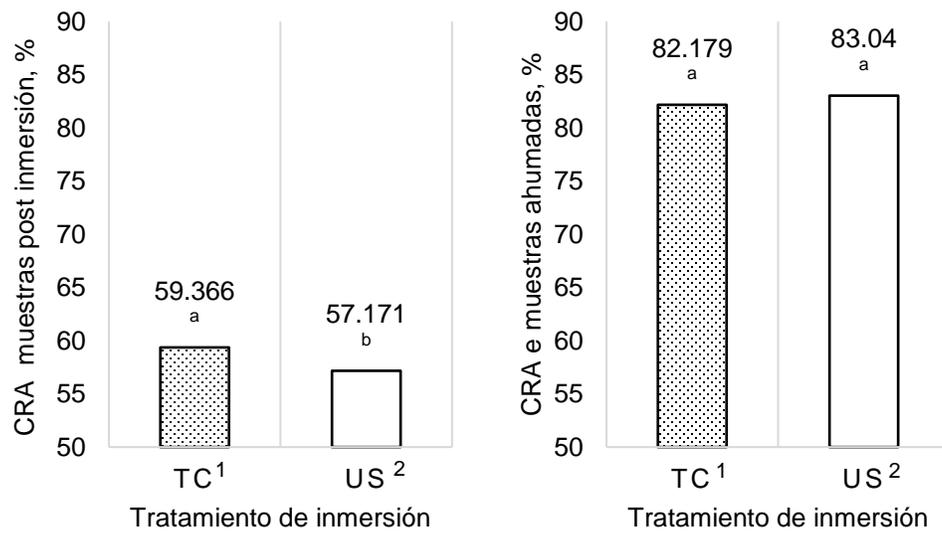
CRA

La CRA disminuyó significativamente ($P < 0.05$) por la aplicación de US en las muestras post inmersión. El tratamiento TC obtuvo un promedio de 59.37% y en el tratamiento US de 57.17%, tal como se muestra en la Gráfica 8. Estos resultados son diferentes a los obtenidos en el capítulo I y a los obtenidos por otros autores quienes han demostrado que la aplicación de US durante el proceso del curado aumenta la CRA de la carne de cerdo (McDonnell *et al.*, 2014, Siró *et al.*, 2009)..

Si la CRA aumenta en las muestras post inmersión, entenderíamos que es salmuera fuertemente ligada a la estructura muscular reflejado como un



Gráfica 7. Color en las muestras de *Longissimus dorsi* de cerdo ahumadas. a) Cromo dependiendo el tratamiento de inmersión. b) Ángulo Hue dependiendo el tratamiento de inmersión y la concentración de NaCl en la salmuera. ^{a, b} Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (106 W/cm²).



Gráfica 8. CRA de *Longissimus dorsi* de cerdo post inmersión y de las ahumado, dependiendo el tratamiento de inmersión. ^{a, b} Letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). ¹ Inmersión estática. ² Inmersión asistida con ultrasonido (106 W/cm²).

aumento en su capacidad para retener la salmuera. En el presente experimento existió mayor penetración de salmuera en las muestras con US, reflejado por el aumento en el peso y en NaCl. Sin embargo, la salmuera no se ligó fuertemente a la estructura, ya que no permaneció dentro de la carne al ejercer la presión mecánica del análisis de CRA arrojando porcentajes de CRA menores cuando se utilizó US. La disminución de la CRA por el US en la carne post inmersión repercute en las características de la carne ahumada. El aumento en peso y NaCl que se obtuvo por el US en las muestras post inmersión disminuyó al momento de aplicar el tratamiento térmico del ahumado. Debido a que la salmuera no estaba fuertemente ligada a la estructura.

La CRA de la carne ahumada no mostró ninguna diferencia significativa ($P < 0.05$). Se obtuvo un promedio del 82.18% en el tratamiento TC y un 83.04% en el tratamiento US. El ahumado es un tratamiento que deshidrata la carne (Aguilar, 2012). Posterior a su aplicación solo permaneciera en las muestras la salmuera y el agua que esta fuertemente ligada. Por lo tanto, el agua y las sales que ganaron las muestras durante el curado, se perdieron al momento de ahumarla.

Fuerza de Corte

El efecto del tipo de inmersión (TC o US) y el efecto de la concentración de NaCl en la salmuera (5 y 10%) no afectaron de manera significativa esta característica. ($P < 0.05$). Estos resultados concuerdan con lo obtenido en el capítulo I y difieren de lo reportado por otros autores (Siró *et al.*, 2009; Ozuna *et al.*, 2013). Como se mencionó anteriormente, se pensaría que al aumentar la

cantidad de NaCl en las muestras, aumentaría la dureza de las mismas. Sin embargo, con los resultados obtenidos en las características de peso, contenido de NaCl y CRA es posible inferir que la salmuera que logró penetrar las muestras durante el curado no quedó fuertemente ligada a la estructura de la carne perdiéndose gran cantidad al momento de ahumarse. El contenido de NaCl en las muestras en los diferentes tratamientos fue suficiente para producir el mismo cambio de textura durante el procesado de la carne.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de US de sonda de alta intensidad como método de asistencia en el curado de carne de cerdo (*Longissimus dorsi*) logró un aumento significativo de NaCl y en el peso de las muestras post inmersión, esto sin dañar sus otras características fisicoquímicas, lo que concuerda con los resultados del estudio previo.

Al momento de realizar el ahumado de las muestras curadas, se logró apreciar que las muestras tratadas con US contenían una mayor cantidad de NaCl y tenían mayores pesos. Sin embargo, este aumento no se considera significativo. Se hipotetiza que la salmuera que penetró en la carne durante el proceso de curado no se ligó fuertemente a la estructura muscular, por lo que al aplicar el proceso térmico que deshidrata la carne, la salmuera ligada débilmente salió de la estructura arrastrando con ella las ganancias de NaCl antes observadas. Incluso el US tornó la carne ahumada más amarilla y menos roja.

Dichos cambios en la coloración de las muestras ahumadas, tratadas con US fueron perceptibles por los consumidores en cuanto a su apariencia visual, prefiriendo entonces, las muestras tratadas con inmersión estática.

Se recomienda realizar más experimentos contemplando el ahumado u otros tratamientos convencionales que se utilizan actualmente en la industria de estos productos para lograr establecer las condiciones ideales de aplicación.

LITERATURA CITADA

Aguilar, J. 2012. Procesos de conservación de alimentos. Primera. (M. E. B. López, editor.). RED TERCER MILENIO S.C., México.

Andronikov, D., A. Kuzelov, N. Taskov, D. Saneva, A. Janevski, K. Mojsov, and E. Sofijanova. 2015. THE INFLUENCE OF THE CONTENT OF THE BRINE ON THE GROWTH RATE AND THE LOSS OF WEIGHT OF SOME SMOKED PORK PRODUCTS. *Zb. Rad.* 20:269–272.

Cárcel, J. A., J. Benedito, J. Bon, and A. Mulet. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76:611–619. doi:10.1016/j.meatsci.2007.01.022.

Got, F., J. Culioli, P. Berge, X. Vignon, T. Astruc, J. M. Quideau, and M. Lethiecq. 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Sci.* 51:35–42. doi:10.1016/S0309-1740(98)00094-1.

Hong, G. P., J. Y. Chun, Y. J. Jo, and M. J. Choi. 2014. Effects of water or brine immersion thawing combined with ultrasound on quality attributes of frozen pork loin. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 34:115–121. doi:10.5851/kosfa.2014.34.1.115.

Inguglia, E. S., Z. Zhang, C. Burgess, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2018. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing. *Ultrasonics.* 83:164–170. doi:10.1016/j.ultras.2017.03.017. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.03.017>

Kuzelov, A., Z. Dimitrovski, D. Naseva, N. Taskov, and D. Andronikov. 2013. Microbiological status of smoked meat products. *Anim. Stud. Vet. Med.* 3.

Mason, T. J., and Peters D. *Practical Sonochemistry*, Second Edition : Power Ultrasound Uses and Applications.

McDonnell, C. K., J. G. Lyng, and P. Allen. 2014a. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Sci.* 98:142–149. doi:10.1016/j.meatsci.2014.04.008. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.008>

NOM-213-SSA1-2002. 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. Available from: http:/

Ojha, K. S., D. F. Keenan, A. Bright, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2016. Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. *Int. J. Food Sci. Technol.* 51:37–45. doi:10.1111/ijfs.13001.

Ozuna, C., A. Puig, J. V. García-Pérez, A. Mulet, and J. A. Cárcel. 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *J. Food Eng.* 119:84–93. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016.

Siró, I., C. Vén, C. Balla, G. Jónás, I. Zeke, and L. Friedrich. 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion

of sodium chloride in porcine meat. *J. Food Eng.* 91:353–362.
doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015>

Troy, D. J., K. Shikha Ojha, J. P. Kerry, and B. K. Tiwari. 2016. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *MESC.* 120:2–9. doi:10.1016/j.meatsci.2016.04.002.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.002>

Turhan, S., F. T. Saricaoglu, and F. Oz. 2013. The effect of ultrasonic marinating on the transport of acetic acid and salt in anchovy marinades. *Food Sci. Technol. Res.* 19:849–853. doi:10.3136/fstr.19.849.

USDA. 2011. *Smoking Meat and Poultry.*