

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

---



**EFFECTO DEL GROSOR DE EMPAQUE Y TIPO DE MÚSCULO EN LA CALIDAD  
DE CARNE BOVINA ASISTIDA CON ULTRASONIDO**

**POR:**

**M.V.Z. GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO**

**DE**

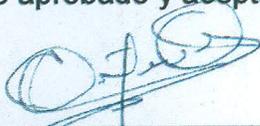
**MAESTRO EN CIENCIAS**

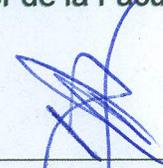
**CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO**

**NOVIEMBRE DE 2019**



Efecto del grosor de empaque y tipo de músculo en la calidad de carne bovina asistida con ultrasonido. Tesis presentada por Germán Contreras López 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

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Manuel Carrillo López  
Presidente

*2 de diciembre de 2019*  
\_\_\_\_\_  
Fecha

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

© Derechos Reservados  
AUTOR. GERMAN  
CONTRERAS LÓPEZ  
DIRECCIÓN: PERIFÉRICO  
FRANCISCO R. ALMADA  
KM. 1, CHIHUAHUA,  
CHIH., MÉXICO C.P. 31453  
DICIEMBRE 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, por acompañarme en todo momento y permitirme vivir día a día, por darme la fuerza, la salud, la paciencia y el ánimo para concluir este paso tan importante en mi vida, GRACIAS.

A la Facultad de Zootecnia y Ecología, por brindarme todo el apoyo en cuanto a conocimiento y laboratorios.

A la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico que nos permitió realizar este programa de posgrado.

Al Colegio de Posgraduados (COLPOS), por brindarnos todas la facilidades para utilizar sus instalaciones.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Luis Manuel Lopez Carrillo, por la confianza puesta en mí y el apoyo brindado al realizar la maestría. Por ser un excelente profesor e investigador, sus enseñanzas y buen mentor. Gracias por todo Doc.

Al Ph.D. Ivan Adrián García Galicia y a la Dra. Mariana Huerta Jimenez, por brindarme su apoyo a lo largo del experimento y facilitarme la compra de los diferentes insumos requeridos en el experimento. Asi como su amistad. Gracias.

A mis compañeras Andrea Carnero y Maria Fernanda Melchor, por todo su apoyo en el trabajo experimental que sin su ayuda hubiera sido muy pesado realizarlo yo solo. Muchas gracias.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Germán Contreras Pérez y Ana María López Duarte, que gracias a sus valores inculcados he logrado todas estas metas. Y que gracias a todos sus consejos y regaños en la juventud, y su apoyo incondicional no sería la persona que soy en la actualidad. Por eso y muchas cosas más, MUCHAS GRACIAS LOS AMO.

## CURRICULUM VITAE

El autor nació el 21 de septiembre de 1991 en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México.

- |                    |   |
|--------------------|---|
| 2012-2017          | Estudios de licenciatura en la Facultad de Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa.  |
| Junio de 2018      | Participación en la 45 <sup>a</sup> Reunion Cientifica de la Asociacion Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, modalidad ponencia. Morelia, Michoacán. |
| Septiembre de 2018 | Participación en el 54 <sup>a</sup> Reunion Nacional de Investigación Pecuaria, modalidad cartel. Nuevo Vallarta, Nayarit.  |

## RESUMEN GENERAL

EFFECTO DEL GROSOR DE EMPAQUE Y TIPO DE MÚSCULO EN LA  
CALIDAD DE CARNE BOVINA ASISTIDA CON ULTRASONIDO

POR:

GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Dr. Luis Manuel Carrillo López

Se llevaron a cabo dos estudios. En el primer estudio el objetivo fue evaluar el efecto del ultrasonido en el marinado de *Longissimus dorsi* de cerdo. Se preparó una salmuera al 2% con NaCl y se realizó un Análisis Descriptivo Cuantitativo utilizando 8 panelistas semi-entrenados. Se evaluó saturación, dureza, densidad, jugosidad, sabor salado, volátiles, residualidad y elasticidad. La aplicación de ultrasonido como tecnología asistida en el marinado disminuyó la percepción en la dureza y la densidad, incrementando la jugosidad de *L. dorsi*, mientras que cortes delgados (1.27 cm) fueron percibidos más salados y menos jugosos. En el segundo estudio, el objetivo fue investigar el efecto del grosor de empaque en dos músculos de carne de bovino (*Gluteus medius*, GM y *Biceps femoris*, BF) tratados con ultrasonido. Se evaluó la calidad físicoquímica, sensorial y la microestructura. Se utilizó un diseño factorial completamente al azar con dos factores: grosor de película plástica en tres niveles (35, 50 y 70  $\mu\text{m}$ )

y tiempo de ultrasonido (0 y 40 min). En general, se observó una mejora en la suavidad en el músculo GM desde 3.25 hasta 2.59 kgf conforme se redujo el grosor de empaque. La disminución significativa de la dureza de GM pudo ser corroborada mediante el análisis sensorial y el incremento en los espacios interfibrilares e intermiofibrilares, los cuales aumentaron desde 308.73 hasta 983.22  $\mu\text{m}^2$  y desde 2.58 hasta 4.27  $\mu\text{m}^2$ , respectivamente. A pesar de que los espacios intermiofibrilares e interfibrilares se incrementaron en BF, no se encontraron diferencias significativas en la dureza del músculo ni en los atributos de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Sin embargo, el pH se incrementó significativamente en bolsas de 70  $\mu\text{m}^2$  tratadas con USAI y la CRA se redujo con el tratamiento de USAI independientemente del grosor de la bolsa.

**Palabras clave:** ultrasonido de alta intensidad, microestructura, sensorial, calidad de la carne.

## ABSTRACT

BY:

GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ

Two studies were carried out in this thesis. The first study aimed to evaluate the effect of high intensity ultrasound (HIU) on the marinade of *Longissimus dorsi* of pork. Three factors were studied: type and timing of marinade and muscle thickness. A 2% brine was prepared with NaCl and a Quantitative Descriptive Analysis was performed using 8 semi-trained panelists. Saturation, toughness, density, juiciness, salty taste, volatile, residuality and elasticity were evaluated. The application of HIU as assisted technology for marinade decreased the perception of toughness and density, increasing the *L. dorsi* juiciness. Thin cuts (1.27 cm) were perceived more salty and less juicy. The second study aimed to investigate the effect of packing thickness on the quality of two beef muscles (*Gluteus medius*, GM and *Biceps femoris*, BF) treated with ultrasound. The physicochemical, sensory and microstructure characteristics were evaluated. A completely randomized factorial design with two factors was used: Three levels of thickness of plastic film (35, 50 and 70  $\mu\text{m}$ ) and two ultrasonication times (0 and 40 min). In general, an improvement of tenderness in the GM muscle was observed from 3.25 to 2.59 kgf as the plastic bag thickness was reduced. The significant decrease in GM toughness was corroborated by sensory analysis and by the increase of interfibrillar and intermyofibrillar spaces which increased from 308.73 to 983.22  $\mu\text{m}^2$  and from 2.58 to 4.27  $\mu\text{m}^2$ , respectively. Although the intermyofibrillar and interfibrillar spaces increased in

BF, no significant differences were found in muscle toughness or in the color attributes L \*, a \* and b \*. However, the pH significantly increased in 70  $\mu\text{m}^2$  bags treated with HIU and the water holding capacity was reduced with the HIU treatment, regardless of the plastic bag thickness.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE GRÁFICAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
LITERATURA CITADA.....	33
PROPIEDADES SENSORIALES EN CARNE DE CERDO CURADA ASISTIDA CON ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD.....	43
RESUMEN.....	44
ABSTRACT.....	45
INTRODUCCIÓN.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
LITERATURA CITADA.....	57
EFFECTO DEL GROSOR DE EMPAQUE Y TIPO DE MUSCULO EN LA CALIDAD DE CARNE BOVINA ASISTIDA CON ULTRASONIDO.....	59
RESUMEN.....	60
ABSTRACT.....	61
INTRODUCCIÓN.....	62
MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
LITERATURA CITADA.....	109

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Estudios recientes del efecto del ultrasonido de alta intensidad en propiedades físicoquímicas de diferentes carnes .....	14
2	Estudios recientes en carne bovina empacada al vacío.....	21
3	Características físicoquímicas y microestructura de los m. <i>Gluteus medius</i> y <i>Biceps femoris</i> .....	26
4	Descripción de los atributos sensoriales utilizados en el análisis descriptivo cuantitativo de lomo de cerdo.....	49
5	Evaluación sensorial de <i>Longissimus dorsi</i> porcino marinado tradicionalmente (MT) y/o asistido con US (media $\pm$ D.E.).....	52
6	Componentes principales de los descriptores sensoriales de <i>Longissimus dorsi</i> porcino de 2.54 y/o 1.25 cm de grosor, marinado con asistencia de US y/o marinado tradicionalmente (por inmersión) durante 30 y/o 90 min.....	54
7	Asignación de tratamientos por músculo ( <i>Gluteus medius</i> (GM) y <i>Biceps femoris</i> (BF)), considerando dos factores (USAI y grosor del empaque) en el diseño experimental....	65
8	CIE L*a*b* del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media $\pm$ D.E.).....	86
9	CIE L*a*b* del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media $\pm$ D.E.).....	87

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	pH del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media ± D.E.).....	71
2	pH del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± D.E.).....	72
3	pH del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media ± D.E.).....	73
4	pH del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± D.E.).....	74
5	Capacidad de retención de agua (CRA) del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media ± D.E.).....	76
6	Capacidad de retención de agua (CRA) del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± D.E.).....	77
7	Capacidad de retención de agua (CRA) del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del tiempo de USAI (media ± D.E.).....	78
8	Esfuerzo de corte (kg) del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media ± D.E.).....	82
9	Esfuerzo de corte (kg) del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± D.E.).....	83
10	Esfuerzo de corte (kg) del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± D.E.).....	84
11	Medias de los descriptores del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI .....	90

12	Medias de los descriptores del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI.....	91
13	Medias de los descriptores del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI; control (0 min) y US (40 min).....	92
14	Medias de los descriptores del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI; control (0 min) y US (40 min).....	93
15	Análisis de componentes principales del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI y grosor de empaque. Muestras: 5 (Control sin USAI), 6 (70 µm 40 min USAI), 7 (50 µm 40 min USAI) y 8 (35 µm 40 min USAI).....	95
16	Análisis de componentes principales del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI y grosor de empaque. Muestras: 1 (Control sin USAI), 2 (70 µm 40 min USAI), 3 (50 µm 40 min USAI) y 4 (35 µm 40 min USAI).....	96
17	Áreas interfibrilares del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).....	98
18	Áreas intermiofibrilares del m. <i>Gluteus medius</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).....	99
19	Áreas interfibrilares del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).....	103
20	Áreas intermiofibrilares del m. <i>Biceps femoris</i> almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI	

(50 $\mu\text{m}$ 40 min USAI), 70 USAI (70 $\mu\text{m}$ 40 min USAI), control (0 min USAI) (media $\pm$ D.E.).....	104
---	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Cavitación ultrasónica (Soria <i>et al.</i> , 2010).....	9
2	Micrográficas electrónicas de barrido de las áreas interfibrilares del m. <i>Gluteus medius</i> . Magnificación 200x; a) Control sin USAI, b) 70 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas interfibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ). .....	100
3	Micrográficas electrónicas de barrido de las áreas intermiofibrilares del m. <i>Gluteus medius</i> . Magnificación 5000x; a) Control sin USAI, b) 70 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas interfibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ). .....	101
4	Micrográficas electrónicas de barrido de las áreas interfibrilares del m. <i>Biceps femoris</i> . Magnificación 200x; a) Control sin USAI, b) 70 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas interfibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ). .....	105
5	Micrográficas electrónicas de barrido de las áreas interfibrilares del m. <i>Biceps femoris</i> . Magnificación 5000x; a) Control sin USAI, b) 70 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35 $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas interfibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ).....	106

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Para mantener y mejorar los altos estándares de calidad en la producción de carne que exige el consumidor, se requiere del desarrollo de nuevos procesos tecnológicos capaces de cumplir estos requerimientos. Dentro de las tecnologías emergentes se encuentra el procesamiento no térmico. Este proceso se ha aplicado con éxito en toda la cadena de suministro de alimentos sin afectar las propiedades funcionales y/o sensoriales de carnes frescas y productos cárnicos (Demirdoven y Baysal, 2009). La calidad de la carne abarca las propiedades inherentes decisivas para la alimentación, el procesamiento y el almacenamiento. Diversos atributos de la carne afectan la satisfacción del consumidor, entre ellos la seguridad alimentaria, valor nutricional, sabor, textura, capacidad de retención de agua, color, contenido y perfil lipídico, estabilidad y uniformidad de los productos cárnicos. Los principales atributos incluyen a la ternura, la jugosidad y el sabor. La ternura, dureza o textura de la carne es determinada por dos componentes mayores del músculo esquelético: la fracción miofibrilar y el tejido conectivo. Además, existe relación entre la calidad final de la carne y la composición de la fibra muscular (Cassens y Cooper, 1971; Ashmore, 1974; Seideman y Theer, 1986). Los músculos con mayor proporción de fibras blancas tienen más tejido conectivo, menos grasa intramuscular y son menos blandos que los músculos con fibras rojas (Melton *et al.*, 1974, 1975; Calkins *et al.*, 1981).

Una de las tecnologías emergentes en el procesamiento de la carne es la aplicación de ultrasonido (Gallego-Juárez, 2010; Chemat *et al.*, 2011). El ultrasonido es una energía acústica, mecánica, no ionizante y no contaminante con gran potencial para el uso en procesos de producción de alimentos de alta

calidad (Ünver, 2016). El ultrasonido modifica propiedades físicas, químicas y funcionales de productos alimenticios (Terefe *et al.*, 2016), por lo que puede influir en características importantes de calidad de los diferentes sistemas alimentarios, como la ternura y atributos sensoriales (Kentish y Feng, 2014).

Los efectos reportados del ultrasonido en la calidad de la carne son diversos y los estudios no pueden considerarse comparables. Una de las razones propuestas es que existe una gran variabilidad en el tipo de equipo utilizado (baño o sonda ultrasónica), sus especificaciones (potencias y frecuencias) y las condiciones experimentales (tipo de músculo, tiempo de sonicación, condiciones de empaque, temperatura, almacenamiento, entre otros). Por ejemplo, Lyng *et al.* (1997) y Chang *et al.* (2009) no encontraron una mejora significativa en la textura de la carne por efecto de ultrasonido utilizando baños ultrasónicos con frecuencias de 30-34, 34-42 y 47 kHz e intensidades de 29.39 y 62  $W \cdot cm^{-2}$  y 40 kHz y 1500 W, respectivamente. Otros investigadores han encontrado una disminución significativa en la fuerza de corte de carne de bovino ultrasonicada utilizando baños de 29 kHz (Smith *et al.*, 1991), 25 kHz y 2  $W \cdot cm^{-2}$  (Dolatowski *et al.*, 2000), 24 kHz y 12  $W \cdot cm^{-2}$  (Jayasooriya *et al.*, 2007) y 40 kHz, 11  $W \cdot cm^{-2}$  (Peña *et al.*, 2019). Desde este panorama este trabajo de investigación considera que un factor muy importante durante la ultrasonicación es el grosor del empaque, del cual depende que las fuerzas ultrasónicas causen mayor o menor efecto en los componentes de la carne, considerando al empaque como una barrera para producir el fenómeno de cavitación.

Además, existe la necesidad de incrementar el valor de músculos duros, particularmente de la espaldilla y de la pierna, modificando las características sensoriales y fisicoquímicas mediante el uso de técnicas de procesamiento adicionales no destructivas ni invasivas como el ultrasonido, que permitan dar valor agregado a estos músculos pequeños específicamente: *Semimembranosus*, *Semitendinosus* y *Rectus femoris* (Von Seggern, 2000).

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Ultrasonido

**Definición e Importancia.** El ultrasonido (US) se define como ondas acústicas que tienen una frecuencia que supera el límite de audición del oído humano (~ 20 kHz). Algunos animales utilizan US para la navegación (delfines) o la caza (murciélagos) utilizando la información transportada por las ondas acústicas que se dispersan hacia atrás (Awad *et al.*, 2012). El US es una forma de energía de vibración mecánica en un sólido o fluido, no ionizante y no contaminante, con un gran potencial de uso en procesos de producción de alimentos de alta calidad (Ünver, 2016). Por lo general, el US se clasifica tomando la frecuencia audible humana como referencia. Este rango podría situarse entre 20 Hz y 20 kHz. Las frecuencias más bajas se conocen como infrasonido y las frecuencias más altas como ultrasonido. Las ondas de US sufren cambios en sus propiedades (velocidad, atenuación, espectro de frecuencia, etc.) cuando viajan a través de un medio (Cárcel *et al.*, 2012).

Cuando el US se propaga a través de una estructura biológica induce compresiones y depresiones de las partículas del medio y se puede impartir una gran cantidad de energía. Dependiendo de la frecuencia utilizada y la amplitud de la onda de sonido aplicada se pueden observar una serie de efectos físicos, químicos y bioquímicos que permiten una variedad de aplicaciones (Got *et al.*, 1999; Knorr *et al.*, 2004).

**Clasificación.** El criterio de mayor relevancia para la clasificación de las aplicaciones del US lo constituye la cantidad de energía del campo sonoro

generado, caracterizado por el poder ( $W$ ) y la intensidad de sonido ( $W \cdot m^{-2}$ ) (Knorr *et al.* 2004).

Los usos del US se clasifican ampliamente en dos grupos: US de baja energía y US de alta energía. El primero de estos se caracteriza por la alta frecuencia y baja intensidad, que implica el uso de frecuencias superiores a 100 kHz a intensidades inferiores a  $1 W \cdot cm^{-2}$  (Dolatowski *et al.*, 2007). El US de baja intensidad se aplica comúnmente como una técnica analítica para proporcionar información sobre las propiedades fisicoquímicas de los alimentos como firmeza, madurez, contenido de azúcar, acidez, composición, estructura y estado físico de los alimentos (Demirdoven *et al.*, 2009; Fellows, 2000; Jayasooriya *et al.*, 2004). El US de baja potencia ha sido utilizado de forma no destructiva para apoyar programas de mejoramiento genético para el ganado y en la evaluación de la composición de productos cárnicos crudos y fermentados, pescados y aves (Awad *et al.*, 2012; Floros *et al.*, 1994).

El US de alta energía (alta potencia, alta intensidad) utiliza intensidades superiores a  $1 W \cdot cm^{-2}$  en frecuencias entre 20 y 500 kHz, que son invasivas e inducen efectos en las propiedades físicas, mecánicas o químicas/bioquímicas de los alimentos. Estos efectos son promisorios en el procesamiento, conservación y seguridad de los alimentos. Esta tecnología emergente se ha utilizado como alternativa a las operaciones de procesamiento de alimentos convencionales para controlar la microestructura y modificar las características texturales de los productos grasos (sonocristalización), emulsificación, desespumado, modificación de las propiedades funcionales de diferentes proteínas de los alimentos, inactivación o aceleración de la actividad enzimática

para mejorar la vida útil y la calidad de productos alimenticios, inactivación microbiana, congelación y descongelación (Gallego-Juárez *et al.*, 2010).

**Tipos de transductores ultrasónicos.** La aplicación de US requiere un sistema capaz de producir un campo ultrasónico estable y confiable a partir de otro tipo de energía, generalmente eléctrica. Los transductores son los dispositivos utilizados para convertir la energía, proveniente de un generador de energía, en energía mecánica en forma de vibraciones ultrasónicas. Hay dos tipos principales de transductor: magnetostrictivo y piezoeléctrico. El primero está construido a partir de aleaciones metálicas de alta resistencia, cuya ventaja es la posibilidad de alcanzar altos niveles de intensidad de potencia acústica, esto es, más de  $150 \text{ W/cm}^2$ , siendo muy estable, confiable (Peshkovsky *et al.*, 2010). Sin embargo, poseen relativamente baja eficiencia (por debajo del 50%) en comparación con los sistemas piezoeléctricos (hasta el 95%). Por esto, el transductor piezoeléctrico es utilizado más ampliamente, independientemente de los niveles relativamente bajos de intensidad de potencia acústica y el corto plazo de vida.

Los transductores están conectados al sistema de vibración, cuya función consiste en transmitir la vibración desde el transductor al medio. En aplicaciones de líquidos, los sistemas más utilizados son los baños y los sistemas de tipo sonda. En los baños de US varios transductores en fase de vibración están unidos al fondo de un tanque metálico que transmite la vibración al líquido contenido. Debido a la reflexión de las ondas ultrasónicas en la interfaz aire-líquido, se crea un campo estacionario con zonas de intensidad acústica máxima y mínima. Luego, el tratamiento ultrasónico aplicado puede cambiar dependiendo

de la ubicación de las muestras (Cárcel *et al.*, 2012). En los sistemas de sonda, el ultrasonido se aplica directamente mediante una "bocina" vibrante. Dependiendo de la geometría de la sonda, se podría utilizar simplemente para transmitir la energía ultrasónica o para concentrarlo en una superficie inferior para amplificar la intensidad y, por lo tanto, sus efectos (Mason, 1998). En aplicaciones con este tipo de sistemas la distancia entre la punta de sonido y la muestra tratada es un parámetro importante a controlar debido a la atenuación del campo ultrasónico con la distancia.

Los sistemas de sirenas y silbidos convierten la energía cinética de un fluido en una onda acústica. En las sirenas, el fluido es forzado a pasar a través de un agujero, generando así una turbulencia que constituye una onda mecánica. En el sistema de silbidos el fluido es forzado a través de una hoja delgada que hace que la hoja vibre. Para cada movimiento vibratorio, la cara delantera de la cuchilla produce una onda de presión (Mason, 1998). En aplicación líquida, el silbato constituye una herramienta poderosa para la mezcla y homogeneización (Mason y Lorimer, 2002). Da Mota y Palau (1999) utilizaron un sistema de sirena para mejorar el secado de la cebolla. En estos experimentos se utilizó una baja frecuencia (1.6 y 3.2 kHz) para evitar parcialmente la atenuación de la energía acústica. Esta acción, sin embargo, puede implicar un ruido intenso que podría ser un obstáculo para su uso.

**Cavitacion por ultrasonido.** En general, la ecografía produce compresión y descompresión alternas en los medios. En líquidos, cuando la potencia ultrasónica alcanza un umbral, el ciclo de rarefacción puede exceder las fuerzas atractivas y a partir de los núcleos de gas existentes, podrían aparecer burbujas

de cavitación (Soria y Villamiel, 2010). Estas burbujas pueden mantener un tamaño estable en cuanto a aumento y disminución, dando lugar a la llamada "cavitación estable", la cual genera microagitación del medio. Sin embargo, las burbujas también pueden crecer y colapsar generando temperaturas locales muy altas (5000 K) y presiones (1000 atm) que producen ondas de corte de alta energía y turbulencias en la zona de cavitación. Este último efecto se conoce como "cavitación transitoria" (Leighton, 1998). Las implosiones son asimétricas si se producen cerca de una superficie sólida, generando un microjet que golpea al sólido (Mason, 1998). Este es el principal efecto observado con el uso de ultrasonido de alta intensidad en operaciones de limpieza. Además, los microjets que golpean la superficie del alimento sólido pueden producir una inyección de fluido dentro del sólido (Mason y Cordemans, 1996). La intensidad de la cavitación y sus efectos dependen de las características del medio, como la viscosidad y/o las variables del proceso: intensidad ultrasónica, frecuencia ultrasónica y presión.

**Usos en tecnología de alimentos.** La aplicación de US en el procesamiento de alimentos se remonta a aquellos años anteriores a la Segunda Guerra Mundial, cuando el ultrasonido fue investigado para una gama de tecnologías, principalmente la emulsificación (Mason, 2003). Sin embargo, recientemente se han logrado los principales avances en la explotación del ultrasonido de potencia en la industria alimentaria (Demirdöven y Baysal, 2009).

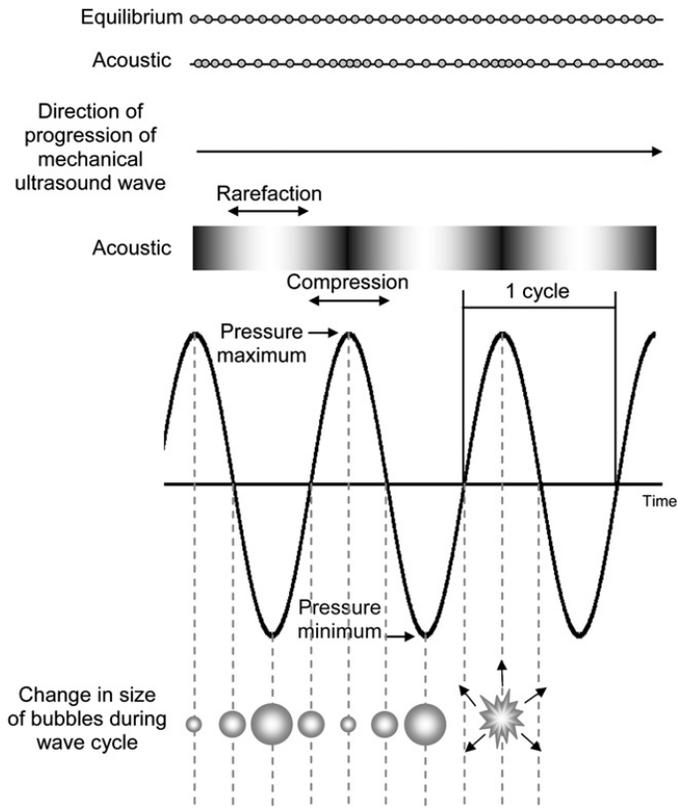


Figura 1. Cavitación ultrasónica (Soria *et al.*, 2010).

Hay una serie de razones para el interés actual en el ultrasonido. La industria alimentaria se está haciendo más consciente de la importancia de desarrollar nuevas técnicas analíticas para estudiar el complejo de materiales alimenticios y monitorear las propiedades de los alimentos durante el procesamiento. Las tecnologías ultrasónicas son ideales para ambas aplicaciones (Dolatowski *et al.*, 2007). Algunas de las áreas de aplicación en la industria alimentaria son mencionadas a continuación.

**Emulsificación / homogeneización.** Cuando dos líquidos inmiscibles se irradian por ultrasonido, no siempre es posible mezclarlos y crear una emulsión; uno de ellos debe cavitarse. Durante la cavitación, las burbujas pueden colapsar cerca de la interfaz de los dos líquidos y el choque da como resultado una mezcla eficiente de las dos capas. Posteriormente, se pueden obtener emulsiones muy finas y altamente estables, con una entrada de energía ultrasónica relativamente baja. Si bien los equipos comerciales que suministran ultrasonido a través de sistemas de baño o de bocinas están bien establecidos en las industrias petroquímica, de polímeros, química, textil, farmacéutica y cosmética (Canselier *et al.*, 2002), recientemente se han empezado a utilizar en la industria alimentaria. Por ejemplo, su aplicación en la línea de producción de procesamiento de jugos de frutas, mayonesa y salsa de tomate. Las emulsiones generadas suelen ser más estables que las producidas convencionalmente (Mason *et al.*, 1996). La mayonesa es un caso particularmente interesante, ya que su excelente color blanco refleja claramente la fina emulsión obtenida por ultrasonido (Patist y Bates, 2008).

**Cambios en la viscosidad y textura.** Dependiendo de la intensidad del ultrasonido, la viscosidad de los alimentos puede aumentar o disminuir, el efecto es temporal o permanente. La cavitación causa cizallamiento, que en el caso de los fluidos tixotrópicos provoca una disminución temporal en la viscosidad. Si se aplica suficiente energía, el peso molecular puede disminuir dando lugar al decremento permanente en la viscosidad (Seshadri *et al.*, 2003). En los gránulos de almidón de maíz tratados con ultrasonido, Huang *et al.* (2007) encontraron una disminución en la viscosidad. En algunos purés vegetales, el tratamiento con ultrasonido permite una mayor penetración de la humedad en la red de fibra, lo que provoca un aumento en la viscosidad del puré de tomate. Cambios en la funcionalidad de los productos lácteos debido al procesamiento por ultrasonido han sido demostrados. Así, el efecto del ultrasonido sobre las propiedades físicas del yoghurt ha sido estudiado por Wu *et al.* (2001) y Vercet *et al.* (2002). Los primeros autores descubrieron que la homogeneización de la leche asistida por ultrasonido, antes de la inoculación, mejoró notablemente la viscosidad del yoghurt. Se ha descrito que una exposición prolongada a ondas ultrasónicas de alta intensidad provoca una ablandación significativa de la carne (Jayasooriya *et al.*, 2004). La aplicación de ultrasonido también facilita la liberación de proteínas miofibrilares, que son responsables de unir las piezas de carne en los productos cárnicos. Por lo tanto, la mejora en las propiedades físicas puede ser obtenida en productos cárnicos tratados con ultrasonido, tal es el caso de propiedades como la capacidad de unión al agua, la suavidad y la cohesión (McClements, 1995).

**Extracción.** El proceso de extracción se puede describir simplemente como la transferencia de los componentes deseados de materias primas al solvente. Bajo irradiación ultrasónica, la tasa de transferencia de masa se puede mejorar notablemente. Por un lado, el microstreaming producido por ultrasonido tiene un efecto mecánico en la superficie de las materias primas, que puede destruir la superficie y reducir el tamaño de las partículas. Por otro lado, la alta temperatura y la presión también pueden facilitar la destrucción de la superficie del material. Como resultado, el área expuesta al campo ultrasónico aumenta y los compuestos dentro de las materias primas tienden a liberarse en el solvente (Yang y Da-Wen, 2013). Varios sustratos han sido blanco de la extracción asistida por ultrasonido (UAE) como fuentes de compuestos bioactivos. A continuación, el Cuadro 1 muestra detalles sobre las condiciones de operación y el rendimiento de algunos de ellos (Soria y Villamiel, 2010).

#### **Aplicacion en la carne**

El uso del ultrasonido para predecir el contenido de grasa y músculo en el ganado vivo ha existido desde principios de la década de los 50`s (Wild, 1950). Hoy en día, la industria de la carne de res utiliza habitualmente la tecnología del ultrasonido de baja intensidad para evaluar el valor de semillas (Wilson 1992), identificar fechas para sacrificar el ganado (Hamlin *et al.*, 1995), predecir la calidad, la palatabilidad y la capacidad de corte en las canales (Houghton y Turlington, 1992). Uno de los atributos de calidad más importantes que afectan la satisfacción al consumidor y la percepción positiva de la carne de vacuno es la suavidad.

La aplicación de ultrasonido de alta intensidad en el ablandamiento de carne ha sido objeto de muchos estudios en las últimas décadas (Roberts, 1993; Smith *et al.*, 1991). Esta tecnología puede causar la ruptura física de los materiales a través de mecanismos relacionados con la cavitación, tal es el caso de un alto esfuerzo de corte, presión y temperatura y formación de radicales libres (Jayasooriya *et al.*, 2007). La aplicación del ultrasonido para provocar cambios en las propiedades físicas y químicas de la carne y los productos cárnicos ha atraído el interés de los investigadores durante las últimas décadas porque es una técnica física pura, que ofrece una alternativa a los medios químicos o térmicos tradicionales de procesamiento. El ultrasonido ha sido utilizado para determinar la capacidad para inducir ruptura de las células de la membrana, lo cual podría aumentar la suavidad de la carne directamente, a través del debilitamiento físico de la estructura muscular, o indirectamente, mediante la activación de la proteólisis, ya sea mediante la liberación de catepsinas de los lisosomas y/o de iones  $\text{Ca}^{++}$  intracelular que puede activar las calpainas (Dolatowski *et al.*, 2007).

Los parámetros acústicos (frecuencia, intensidad, duración del tratamiento, temperatura) determinan el alcance del resultado obtenido por la ultrasonicación (Zayatas, 1971). A continuación se describen varias investigaciones relacionadas con esto.

Pohlman *et al.* (1997) no encontraron un efecto significativo en el ablandamiento de músculo *Semitendinosus* tratado con un campo ultrasónico de 20 kHz y  $1.55\text{Wcm}^{-2}$ . A este respecto, la potencia ultrasónica aplicada ( $1.55\text{Wcm}^{-2}$ ) pudo no haber sido suficiente para producir la ruptura miofibrilar y/o celular. En

Cuadro 1. Estudios recientes del efecto del ultrasonido de alta intensidad en propiedades físicoquímicas de diferentes carnes

Descripción de la muestra	Parámetros de ultrasonido	Resultados	Observaciones particulares	Referencia
Res Rebanadas de musculo <i>Semitendinosus</i> de res, con grosor de 1.27 cm	40 kHz, 11 W/cm <sup>2</sup> 0, 60 y 90 min	Incremento de la luminosidad (L*) y reducción de la tendencia al rojo (a*) después de 8 d de almacenamiento. Aumento en la tendencia al amarillo (b*) después de 90 min de US. La capacidad de retención de agua (CRA) no se vio afectada.	Evaluación después del almacenamiento durante 0, 2, 4, 6, 8 y 10 d. La sonicacion se llevó a cabo con bolsas al vacío.	Caraveo <i>et al.</i> , 2015
<i>Semitendinosus</i> de res, muestras de 2.5x5x5 cm	40 kHz, 1,500 W. 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min	Reducción de esfuerzo de corte con 30 y 50 min. Después de 30 min hubo encogimiento de fibras y ruptura de endomisio.	Sonicacion en bolsas al vacío. Se utilizó un tanque de US.	Chang <i>et al.</i> , 2015
<i>L. dorsi</i> de res 48 h <i>post-mórtem</i> , durante proceso de curado.	20 kHz; 2.39, 6.23, 11.32 y 20.96 W/cm <sup>2</sup> . 30, 60, 90 y 120 min	Incremento en la hidrofobicidad de la superficie de las proteínas. Incremento en la oxidación de lípidos y proteínas	Ultrasonication con sonda. Salmuera al 6% de NaCl.	Kang <i>et al.</i> , 2016
<i>L. dorsi</i> de res	40 kHz, 11 W/cm <sup>2</sup> , 60 min	Se redujo el esfuerzo al corte. Carne más suave y jugosa sin cambios en color, en evaluación sensorial. Se incrementó la oxidación lipídica a los 14 días de almacenamiento.	Se utilizó un baño ultrasónico. Seguido de maduración por 0, 7 y 14 d.	Peña-González <i>et al.</i> , 2017
<i>Semitendinosus</i> de res (80x70x25 mm)	20 kHz, 25 W/cm <sup>2</sup> , 20 y 40 min	Se redujo el esfuerzo al corte después de 3-7 días de maduración. Promoción de la separación de las miofibrillas y fractura de línea Z y banda I a los 3 días de maduración.	La sonicacion se realizó dentro de bolsas. Se empleó sonda ultrasónica. Maduración por 1, 3 y 7 días.	Wang <i>et al.</i> , 2018

<i>L. lumbrorum</i> de res (3x3x3 cm) durante un proceso de ablandamiento artificial.	20 kHz; 100 y 300 W; 20 y 30 min. Duración de los pulsos: 7 s encendido, 2 s apagado	Aumenta las puntuaciones de suavidad cuando se combina con papaína incluso en capas profundas del tejido. Mejora la actividad enzimática total. Incrementa la transferencia de masa y difusión de la papaína a 100 W por 20 min.	Sonda ultrasónica (12 mm) en una baño de agua al 0.1% de papaína. Sonda a 1 cm de la muestra. La carne fue congelada antes del tratamiento.	Barekat <i>et al.</i> , 2018
Cerdo <i>Semitendinosus</i> de cerdo, durante proceso de salmuera.	20 kHz; 9.0 y 54.9 W/cm <sup>-2</sup> ; 120 min	Reduce el esfuerzo al corte con 54.9 W/cm <sup>-2</sup> . Con 54.9 W/cm <sup>-2</sup> la transferencia de masa fue superior al control.	Se utilizo una sonda ultrasonica de 13 mm. Salmuera de NaCl al 5%. Baño ultrasónico.	Ojha <i>et al.</i> , 2016.
Salami italiano	25 kHz. Poder nominal de 500 W. 0, 3, 6 y 9 min	Mejora el crecimiento de las bacterias del ácido láctico y Micrococaceaea después de 9 minutos de tratamiento. El pigmento MMb no fue afectado. Mantiene THP durante el almacenamiento.	Baño ultrasónico.	De Lima <i>et al.</i> , 2017.
Lomo de cerdo (100x50x10 mm)	15 kHz, 2200 W. 0.14 W/g. 0, 0.5, 1, 2, 3, 4 y 6 min.	El ablandamiento de la carne se debió al incremento del índice de fragmentación miofibrilar en un 15 % (desde 49.9 hasta 54.3). Se redujo la dureza en un 87.6% en TPA y el esfuerzo al corte en un 87.9%.	También se probó a 300 W con 0, 30 y 60 min. No hubo efecto importante en textura. Sensorialment e se redujo la dureza y blandura a los 60 min.	Yeung y Huang, 2017.

otra investigación, Smith *et al.* (1991) expusieron músculo *Semitendinosus* a una fuente de ultrasonido con frecuencia de 25.9 kHz utilizando baño de agua salina desgasificada; las muestras que fueron tratadas durante 2 o 4 min tuvieron valores de esfuerzo de corte significativamente más bajos que los controles, sin embargo, la fuerza de corte aumentó después de 8 min de tratamiento. Por otro lado, Jayasooriya *et al.* (2007) encontraron una reducción significativamente en el esfuerzo al corte y dureza de carne de bovino no cocinada tratada con ultrasonido de alta intensidad por 240 s (24 kHz, 12 W cm<sup>-2</sup>).

Got *et al.* (1999) estudiaron la ultraestructura del músculo semimembranoso tratado con ultrasonido y encontraron que el tratamiento ultrasónico aumenta la longitud del sarcómero, observando que como resultado del estiramiento de los sarcómeros los espacios inter-miofibrilares se agrandaron y las líneas Z parecieron estar alteradas. En el día 6 de almacenamiento, se observó una fragmentación visible con evidencia de debilitamiento en la región de la línea Z. Sin embargo, el tratamiento ultrasónico no produjo modificaciones ultraestructurales significativas, lo que sugiere que la frecuencia del tratamiento ultrasónico fue demasiado alta (2.6 MHz) para producir cavitación (Alligar, 1975).

## **Empaques**

El empaqueo proporciona contención y protege a los productos alimenticios de condiciones desfavorables durante su distribución y almacenamiento. Las situaciones adversas a las que suelen someterse los alimentos pueden ser tanto externas como internas, tal es el caso del vapor de agua, microorganismos, gases, polvo, choques mecánicos y vibraciones (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). En carne fresca el empaqueo se realiza para

evitar la contaminación, retrasar el deterioro, permitir que alguna actividad enzimática mejore la sensibilidad, reducir pérdidas de peso y, cuando corresponda, para garantizar un color rojo cereza en carnes rojas, el cual resulta muy atractivo para los consumidores; bioquímicamente este efecto resulta de la oxigenación de la mioglobina (Brody, 1997).

Las variables que influyen en las propiedades de vida útil de la carne fresca envasada son el tipo de producto, la mezcla de gases, el empaque, equipo de embalaje, temperatura de almacenamiento y los aditivos (Zhou *et al.*, 2010).

El envasado de carne fresca solo es mínimamente permeable a la humedad, lo cual evita la desecación en la superficie, mientras que la permeabilidad al gas varía con el tipo de película que se utilice. Las opciones de envasado para carnes crudas refrigeradas incluyen al empacado permeable al aire (empaque aeróbico), empacado al vacío (bajo en O<sub>2</sub>) y empacado en atmósfera modificada (MAP bajo en O<sub>2</sub> con gases anóxicos y MAP alto en O<sub>2</sub>). Si bien el empaque permeable al aire no está clasificado dentro del MAP, el uso de materiales de empaque dentro del paquete principal o bien los sistemas de bandeja con funda, permiten que esta opción de empaque sea un componente del MAP (McMillin *et al.*, 1999). Por lo tanto, la mayoría de las películas de envasado de carne son de construcción multicapa que incorpora una variedad de resinas poliméricas (Šcetar *et al.*, 2010).

### **Atmósferas modificadas**

El envasado en atmósfera modificada es una técnica que se usa ampliamente para prolongar la vida útil y mejorar la calidad de los alimentos perecederos, incluidos la carne y los productos cárnicos almacenados tanto a

temperaturas de refrigeración (4°C) como inferiores. El color, la oxidación de lípidos y los conteos microbianos son los criterios de calidad más importantes para el almacenamiento de carne roja fresca (Esmer *et al.*, 2011).

Se utiliza un ambiente diferente al del aire. Generalmente mediante charolas de plástico rígido en las que la carne permanece sobre una almohadilla absorbente, selladas con una película plástica transparente (O'Connor-Shaw y Reyes, 2000). Durante la fabricación de estos empaques una máquina aspira el aire residual de la bandeja y posteriormente crea una atmósfera modificada antes de sellar el empaque con la película transparente. Las atmósferas modificadas contienen gases purificados encontrados en el aire (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CO); cada gas tiene un propósito dentro del empaque (O'Connor-Shaw y Reyes, 2000). El N<sub>2</sub> no tiene efecto sobre el color de la carne ni sobre el crecimiento bacteriano, pero constituye un diluyente que permite la mezcla adecuada de los otros gases (Farber, 1991). El O<sub>2</sub> se utiliza porque origina el color rojo brillante en la carne. El CO<sub>2</sub> disminuye el crecimiento y daño de bacterias del deterioro. El CO está aprobado en niveles de 0.4%, su función es trabajar con la mioglobina para formar un enlace fuerte que crea el color rojo. Sin embargo, el uso del CO debe usarse en mezclas que no contengan O<sub>2</sub> porque disminuye la oxidación creando un efecto estabilizador que proporciona mayor vida de anaquel (Aberle *et al.*, 2012). La atmósfera modificada más usada consiste de 80% O<sub>2</sub> / 20% CO<sub>2</sub> o bien 0.4% CO / 30% CO<sub>2</sub> / 69.6 % N<sub>2</sub>.

Torngren (2003) mostró que filetes de bovino empacados en atmósfera modificada con alta concentración de O<sub>2</sub> presentaron una disminución en la suavidad y un incremento de sabores desagradables. Los filetes almacenados en

atmósferas con bajo O<sub>2</sub> aumentaron el sabor y la suavidad debido a la reducción en la oxidación de proteínas (Seyfert *et al.*, 2005). El contenido de grupos carbonilo se incrementa en atmósferas con alto O<sub>2</sub> después de 6 d de almacenamiento, a diferencia de empaques con 100% de N<sub>2</sub> (Lund *et al.*, 2008). Los empaques con atmósferas altas en O<sub>2</sub> (70% O<sub>2</sub>/ 30% CO<sub>2</sub>) disminuyeron la suavidad y la jugosidad de *Longissimus dorsi* de cerdo después de 14 d de almacenamiento a 4°C. En ellos se observaron enlaces cruzados en la cadena de miosina a través de uniones disulfuro y el contenido de tioles se redujo indicando oxidación proteica (Lund *et al.*, 2007).

### **Aeróbico tradicional**

El empaque tradicional (aeróbico) se ha utilizado en embalajes de carne fresca desde mediados de los años cincuenta. Aunque han existido cambios a través de los años, los consumidores tienen preferencia por los paquetes de cloruro de polivinilo (PVC), según se corrobora con la presencia en el mercado minorista (Mize y Kelly, 2004). Históricamente, los consumidores utilizan el color de la carne como el principal indicador de frescura y salubridad, inclinándose por empaques que promuevan un color rojo cereza (Jenkins y Harrington, 1991; McMillin, 2008). Una desviación en el color rojo cereza resulta en una severa intención de compra por parte de los consumidores (Liu *et al.*, 1995). La preferencia por la carne de res envasada con PVC tradicional hace que el empaque sea relevante durante la venta el menudeo.

### **Vacío**

Consiste en el uso de una bolsa plástica o caja hecha de materiales que proporcionen una fuerte barrera de protección contra la abrasión, migración de

humedad y permeabilidad de gases (Brooks *et al.*, 2007). Los cortes de carne se introducen en la bolsa plástica y posteriormente se colocan en una máquina empacadora que remueve el aire residual de la bolsa y que inmediatamente sella la bolsa para prevenir que el aire regrese al empaque. Usualmente la carne empacada se coloca brevemente en agua caliente para que el exceso de bordes de la bolsa se contraiga alrededor de la carne, mejorando la apariencia y la fuerza del empaque (Aberle *et al.*, 2012). Debido a la remoción del aire del empaque, el color de la carne empacada al vacío suele ser café-púrpura, por lo que el uso de este tipo de empaque se reserva para cortes que tienen un color fijo permanente (carne cocinada o curada). Pocos consumidores han aceptado cortes de carne de bovino empacada al vacío; generalmente se acepta para falda de res. La falta de O<sub>2</sub> en los empaques incrementa considerablemente la vida de anaquel y reduce la oxidación. La permeabilidad al O<sub>2</sub> permite el contacto con el aire, por lo que el color de la carne es rojo; el empaque es económico, sin embargo, la vida de anaquel es corta debido a la oxidación y crecimiento de bacterias del deterioro (Farber, 1991).

Los materiales de envasado al vacío para cortes primarios son generalmente coextrusiones de tres capas de acetato de etilvinilo / cloruro de polivinilideno / acetato de etilvinilo, que comúnmente tienen una permeabilidad al O<sub>2</sub> de menos de 15.5 mL\*m<sup>-2</sup> (24 h) (-1 a 1 atm) como resultado de la capa de cloruro de polivinilideno (Jenkins y Harrington, 1991). La falta de O<sub>2</sub> en los paquetes puede minimizar las reacciones del deterioro oxidativo y reducir el crecimiento de bacterias aeróbicas, lo que generalmente hace que los pigmentos se encuentren en el estado de deoximioglobina.

**Cuadro 2. Estudios recientes en carne bovina empacada al vacío**

Descripción de la muestra	Tratamiento	Resultados	Referencia
Filetes de lomo de res de 2.5 cm	Pretratamiento de CO al 5% antes del empacado al vacío (1, 3, 5, 7, 9, 15 y 24 horas).	El tratamiento de CO de 5 h logró mantener el color deseable de la carne.	Van Rooyen <i>et al.</i> , 2017.
Filetes de <i>Longissimus thoracis</i> de res de 1.9 cm	Nitrito en spray (0, 100, 250, 300 y 350 ppm) para la estabilidad del color rojo en la carne cruda. Almacenamiento (1, 2, 3, 7, 14 y 21 días).	El tratamiento de nitrito en spray de 250-350 ppm mantuvo el color rojo de la carne a los 21 días de almacenamiento a 1°C.	Song <i>et al.</i> , 2015.
Filetes de res	Pretratamiento con ozono líquido (6 mg/L) y agua electrolizada diluida (100 mg/L) antes del empacado al vacío.	Los tratamientos probados no redujeron la presencia de <i>Pseudomonas fragi</i> .	Botta <i>et al.</i> , 2018.
<i>Longissimus lumborum</i> de res de 2 cm	Maduración por 7 d; reempacado al vacío (termoencogible) y MAP por otros 7 días.	Después de cinco días se afectó estabilidad del color, tocoferol y NADH, según el tipo de empaque. Los valores más altos para tendencia al color rojo fueron con el empaque termoencogible.	Li <i>et al.</i> , 2012.
<i>Semitendinosus</i> de res (80 x 70 x 25 mm)	20 kHz, 25 W*cm <sup>-2</sup> ; 20 y 40 min. La sonicación se realizó dentro de bolsas al vacío. Se empleó sonda ultrasónica. Y maduración por 1, 3 y 7 días.	Se redujo el esfuerzo al corte de Warner Bratzler a los 3-7 días de maduración. Incremento la degradación de desmina y troponina T después de 3 días de maduración. Promueve la separación de las miofibras y fractura de línea Z y banda I a los 3 días de maduración.	Wang <i>et al.</i> , 2018
Semitendinoso de res (2.5 x 5 x 5 cm)	40 kHz, intensidad 1500 W por 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min. Baño ultrasónico; bolsas al vacío.	El ultrasonido incremento el exudado y pérdida de agua; redujo los valores de esfuerzo al corte de Warner-Bratzler. Después de 10 min de tratamiento con ultrasonido hubo encogimiento de las fibras musculares y ruptura del endomisio.	Chang <i>et al.</i> , 2015
<i>Longissimus lumborum</i> en rebanadas de 25 mm y <i>Sternocleidomastoideus</i> en tiras de 40 mm de ancho y 70 mm de largo.	Ultrasonido para tratamiento post-rigor (600 kHz, 48 kPa y 65 kPa de presión acústica); tratamiento pre-rigor (2 MHz, 48 kPa de presión acústica). Sonicación dentro de bolsas al vacío.	después de 7 días de maduración a 4 °C los filetes tratados con ultrasonido eran similares en color a los filetes madurados no tratados.. Los músculos tratados con ultrasonido fueron más blandos comparados con el control.	Sikes <i>et al.</i> , 2014

## **Músculos Bovinos de Importancia**

Existe una enorme variación en la calidad de la carne tanto individual como entre animales de la misma raza, sexo y ambiente, lo cual sigue siendo motivo de muchos estudios (Lawrie, 1985). Es probable que esta variación se deba a diferencias de varios factores intrínsecos (genéticos) y extrínsecos (ambientales), algunos conocidos y otros desconocidos, que interactúan entre sí y determinan el resultado de los procesos metabólicos en el período *pre* y *post-mortem* (Klont *et al.*, 1998). La variación en la composición proximal y la calidad de la carne, especialmente en carne de res, surge de una mezcla heterogénea de músculos en los cortes de carne convencionales. En consecuencia, la industria de la carne en los países desarrollados sigue tendencias hacia la comercialización de cortes individuales para mejorar el valor de los cortes de carne al por menor (Joo *et al.*, 2013).

Un estudio de la National Beef Tenderness Survey-1998 (Brooks *et al.*, 2000) reveló que todavía se necesitan mejoras en la suavidad de los cortes minoristas de la pierna. La pierna representa aproximadamente el 22% del peso de una carcasa de res típica y contiene algunos de los músculos más grandes; sin embargo, estos músculos son de los menos sensibles de la carcasa (Jones *et al.*, 2001).

Durante más de 50 años se han hecho esfuerzos por perfilar y/o caracterizar los músculos individuales de la canal de res tanto en propiedades fisicoquímicas como sensoriales (Jeremiah *et al.*, 2003).

***Gluteus medius (GM)***. Algunos de los trabajos más recientes con este músculo fueron realizados por Jones *et al.* (2004), quienes utilizaron animales Angus con canales de 340 kg aproximadamente. El lado derecho de la canal fue cortado en cada uno de los cortes sub-primarios: pecho, costillar, falda, lomo, flanco y pierna. Después de remover cada músculo se les realizaron análisis fisicoquímicos, sensoriales y descripción de sus características.

Al *Gluteus medius (GM)* se le conoce como Top Sirloin, Top Butt o Top Sirloin Butt. El GM tiene tres orígenes: el primero a partir de la aponeurosis del *longissimus* hasta la primera vértebra lumbar, el segundo de la superficie glútea y la tubera del íleon, y el tercero de los ligamentos sacro-ílfaco y sacro-ciático dorsal y lateral y la fascia glútea. Algunas de las acciones de este músculo son extender la articulación de la cadera y abducir la extremidad. En cuanto a las características fisicoquímicas, en los atributos de color L\* (luminosidad) tiene un valor de 44.53, en a\* (tendencia al rojo) 27.74 y en b\* (tendencia al amarillo) de 22.47, un pH de 5.73, una capacidad de retención de agua de 45.66, contenido de colágeno de 11.6 y esfuerzo al corte de 6.06 kgf. En características de composición contiene 4.17% de grasa y 75.29% de humedad.

Stelzleni *et al.* (2007) realizaron una evaluación comparativa con 5 poblaciones de animales (75 animales en total): vacas comerciales de carne alimentadas (B-F), vacas comerciales de carne no alimentadas (B-NF), vacas lecheras alimentadas (D-F), vacas lecheras no alimentadas (D-NF) y vaquillas con clasificación USDA madurez-A (SEL). Los grupos clasificados como no alimentados solo tuvieron una dieta de mantenimiento, mientras que los clasificados como alimentados tuvieron una fuente de energía antes del sacrificio.

Las vaquillas de clasificación USDA madurez-A y las vacas lecheras alimentadas presentaron la mayor suavidad en el músculo *Gluteus medius*.

Otros autores como Mc Keith *et al.* (1985) investigaron las diferencias en la palatabilidad de 13 músculos primarios de vaquillas Angus y sus propiedades físicas y químicas que contribuyen a las diferencias en las características sensoriales. En cuanto a la evaluación sensorial del músculo *Gluteus medius* encontraron una calificación de 5.63 para la blandura de las fibras musculares, y 5.75 para tejido conectivo, con una blandura total de 5.63. En cuanto a jugosidad reportaron 5.03. La medida objetiva del esfuerzo al corte fue de 3.48. En el caso del análisis fisicoquímico reportaron valores de humedad de 71.8%, grasa de 5.1%, longitud del sarcomero de 1.9  $\mu\text{m}$  y contenido de colágeno total de 8.13 mg/g.

En cuanto a la composición histoquímica, Kirchofer *et al.* (2002) caracterizaron el tipo de fibra muscular en 38 músculos del pecho y pierna. Los músculos se seccionaron y se tiñeron con un procedimiento que incluía succinato deshidrogenasa y la técnica de tinción con adenosina trifosfatasa. Los músculos que contenían más del 40% de fibras  $\beta$ -rojas se clasificaron como rojos, mientras que más del 40% de las fibras  $\alpha$ -blancas se clasificaron como blancos. La distribución de fibras musculares para *Gluteus medius* fue de 19.5, 24.9 y 55.6% ( $\beta$ -rojas,  $\alpha$ -rojas y  $\alpha$ -blancas, respectivamente). Por lo tanto, este músculo fue clasificado como blanco.

***Bíceps femoris (BF)***. A este músculo también se le conoce como tapa del Top Sirloin o cuello de cisne de la pierna. El *Biceps femoris* (BF) tiene su origen en los ligamentos sacroilíacos dorsales y laterales, la fascia glútea y coccígea y

el tabique intermuscular entre este músculo y el semitendinoso. Algunas de las acciones que realiza el BF son la extensión de las articulaciones de la cadera, la rodilla y el corvejón y la flexión de la rodilla cuando la pata trasera se levanta del suelo. Algunos valores de sus características fisicoquímicas son las siguientes: L\* (luminosidad) de 41.38, a\* (tendencia al rojo) de 32.14, b\* (tendencia al amarillo) de 26.55, pH de 5.63, capacidad de retención de agua de 43.35%, contenido de colágeno de 10.88 mg/g y esfuerzo al corte de 4.5 Kgf. Para las características de composición se reportan valores de humedad de 73.8% y contenido de grasa de 5.34% (Jones *et al.*, 2004).

Mc Keith *et al.* (1985) investigaron las diferencias en la palatabilidad de trece músculos primarios de vaquillas Angus y las propiedades físicas y químicas que pueden contribuir a las diferencias en las propiedades sensoriales. En cuanto a los atributos sensoriales, para el *Biceps femoris* reportaron una blandura de fibras musculares de 5.83, cantidad de tejido conectivo de 4.91, blandura total de 5.44 y jugosidad de 6.18; en cuanto a las mediciones fisicoquímicas encontraron un valor en esfuerzo al corte de 5.49 Kgf y porcentaje de humedad de 72.6, grasa 5.6%, longitud del sarcomero de 1.81  $\mu\text{m}$  y colágeno total de 9.6.

Hablando de la clasificación histoquímica, Kirchofer *et al.* (2002) reportaron que la distribución de fibras musculares en *Biceps femoris* fue de 21.7, 29 y 49.3 ( $\beta$ -rojas,  $\alpha$ -rojas y  $\alpha$ -blancas, respectivamente). Estos autores clasificaron a este músculo como blanco.

Cuadro 3. Características físicoquímicas y microestructura de los m. *Gluteus medius* y *Biceps femoris*

Característica	<i>Gluteus medius</i>	<i>Biceps femoris</i>
Clasificación	Blanco	Blanco
Esfuerzo al corte (kgf)	6.06	5.49
Capacidad de retención de agua (%)	45.66	43.35
pH	5.73	5.63
Contenido de grasa (%)	5.1	5.6
Contenido de colágeno (mg/g)	8.13	9.6
Humedad (%)	71.8	72.6
Longitud de sarcómero ( $\mu\text{m}$ )	1.9	1.81
L*	44.53	41.38
a*	27.74	32.14
b*	22.47	26.55

## **Calidad de la carne**

La carne de cerdo es una de las fuentes de proteína más consumidas en el mundo. Además, los consumidores modernos están cada vez más preocupados por la producción de carne segura sin efectos indeseables en la salud (Andersen *et al.*, 2005). La calidad de la carne siempre ha sido importante para el consumidor y constituye un tema especialmente crítico para la industria de la carne en el siglo XXI. A medida que la demanda de carne de alta calidad por parte de los consumidores aumenta en la mayoría de los países, la industria cárnica debe producir y suministrar constantemente carne de calidad con buen sabor, segura y saludable, garantizando el consumo continuo (Joo *et al.*, 2013). Este es un desafío al que se enfrenta la industria cárnica. Esto es, obtener información confiable sobre la calidad de la carne durante todo el proceso de producción, lo que en última instancia ofrecería una calidad garantizada en los productos cárnicos para los consumidores (Damez y Clerjon, 2008).

La calidad de la carne fresca es difícil de definir porque es un concepto complejo determinado por las preferencias del consumidor (Joo *et al.*, 2013). Debido a que la carne fresca es un tejido animal cuyo uso final es el de ser un alimento, las características de calidad están influenciadas por diversos factores, como la estructura muscular, la composición química, el entorno químico, la interacción de los componentes químicos, los cambios *post-mortem* en los tejidos musculares, el estrés y los efectos de la pre-matanza (Joo *et al.*, 2013; Andres *et al.*, 2007; Venel *et al.*, 2001).

Las características de calidad de la carne fresca se clasifican según factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos son las características

fisiológicas de la carne, como los rasgos de calidad de la apariencia, características fisicoquímicas y los rasgos de calidad de consumo (características sensoriales), mientras que los factores extrínsecos son los rasgos de calidad de confianza y características microbiológicas (Joo y Kim, 2011).

### **Características de Calidad de la Apariencia (RCA)**

El color de la carne es el RCA más importante porque es el primer factor visto por el consumidor. A menudo se utiliza como un indicador de frescura y salubridad (Joo *et al.*, 2013; Muchenje *et al.*, 2009). Las mediciones de color se realizan utilizando el sistema de color de la Commission International de l'Eclairage (CIE) (Commission International de l'Eclairage, 1976). Las tres coordenadas de color fundamentales son  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . La  $L^*$  mide la luminosidad y es una medida de la luz reflejada (100 = blanco; 0 = negro);  $a^*$  positivo es la tendencia al rojo y negativo es la tendencia al verde, mientras que  $b^*$  positivo es la tendencia al amarillo y  $b^*$  negativo es la tendencia al azul (Commission International De l'Eclairage, 1976). El color de la carne varía dependiendo de la especie, la edad y el tipo de músculo; las diferencias en color también se deben al contenido de mioglobina (Mb) en el músculo (Joo *et al.*, 2013; Priolo *et al.*, 2001).

Otras dos características importantes para la carne fresca son la cantidad de goteo en la superficie de la carne y la purga en la bandeja. La pérdida por goteo y purga depende de la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne. La CRA está estrechamente relacionado con el color de la carne debido a su papel en la pérdida de Mb y la reflectancia en la superficie de la carne (Joo *et al.*,

1995). La CRA se define como la capacidad de la carne para retener el agua durante la aplicación de fuerzas externas, como cortar, calentar, moler o prensar (Zhang *et al.*, 2005). En estudios detallados de las miofibrillas, Offer y Trinick (1983) presentaron evidencia de que la mayor parte del agua en el músculo está retenida por las fuerzas capilares entre los filamentos gruesos y delgados. La CRA de la carne se ve afectada por el pH (Offer y Knight, 1988). Además, la CRA influye en otras propiedades físicas, incluida la textura y firmeza de la carne cruda, y en las propiedades alimenticias de la carne cocida como jugosidad (Joo *et al.*, 2013).

Finalmente la textura de la carne, que está directamente relacionada con el tamaño de la fibra muscular y la cantidad de tejido conectivo, está parcialmente afectada por la cantidad de grasa intramuscular (CGI). La dureza de la carne depende principalmente de la estructura miofibrilar y el tejido conjuntivo. La estructura miofibrilar está fuertemente influenciada por las condiciones de crianza de los animales (Damez *et al.*, 2008). Muir *et al.* (1998) y Monson *et al.* (2005) argumentaron que la suavidad de la carne depende del contenido de colágeno, la estabilidad térmica y la estructura miofibrilar del músculo. La organización espacial de la red conjuntiva de haces de fibras de grasa y carne, que define el "grano de la carne" y el marmoleo, es uno de los rasgos de la estructura fuertemente relacionados con la suavidad de la carne (Damez *et al.*, 2008). Si la canal se refrigera inmediatamente después del sacrificio, las fibras musculares se contraen severamente y el resultado es el "acortamiento en frío", por lo que se requerirá una fuerza mayor para cortar las fibras después de la cocción (Razminowicz *et al.*, 2006).

## **Características de Calidad de Consumo**

La suavidad es el factor más importante, en cuanto a la percepción de la calidad de la carne por los consumidores. Sin embargo, tenemos otros atributos como el sabor y la satisfacción (aceptabilidad general) (Verbeke *et al.*, 2010). La jugosidad, la frescura, la cantidad de grasa (carne magra), la salubridad y el valor nutricional forman parte de la calidad intrínseca (Banovic *et al.*, 2009; Brunsø *et al.*, 2005; Krystallis *et al.*, 2007).

El sabor es importante para la calidad de la carne porque el consumidor busca un sabor agradable (Joo *et al.*, 2013). El sabor de la carne se ve afectado por la especie, el sexo, la edad, el nivel de estrés, la cantidad de grasa y la dieta del animal. La carne de res, cerdo, cordero y ave de corral tienen características de sabor distintivas debido a la variación de los precursores del sabor; generalmente en cuanto a la grasa entre las diversas especies y aún entre los individuos de una misma especie (Joo *et al.*, 2013). Por ejemplo el olor a verraco en la carne de cerdo de machos es un olor desagradable, similar a la orina y al sudor, y está relacionado con la presencia de androstenona y escatol (Grindflek *et al.*, 2011).

La jugosidad está relacionada positivamente con la CRA de la carne y el contenido de grasa intramuscular (CGI) en la carne. El CGI afecta directamente la jugosidad y el sabor (Hocquette *et al.*, 2010), y la percepción humana de la jugosidad aumenta a medida que aumenta el CGI en la carne (Jeremiah *et al.*, 2003).

Los consumidores buscan la seguridad de que la carne que consumen deriva de sistemas de producción éticamente robustos. En consecuencia, los granjeros, los veterinarios, los empacadores y los científicos necesitan conocer mejor cómo evaluar y auditar el bienestar de los animales en la granja y en la planta de sacrificio (Grandin, 2010). Se debe de enfatizar en la importancia que tiene la trazabilidad con relación a la calidad. Las agencias reguladoras de muchos países han insistido en la implementación y aplicación de sistemas de trazabilidad (Troy y Kerry, 2010).

### **Curado**

El curado de la carne es uno de los métodos más antiguos para preservación de la carne. Este involucra la adición de sales, principalmente NaCl y nitratos, los cuales contribuyen positivamente en las características tecnológicas y sensoriales de la carne (Ojha *et al.*, 2016). 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 ternura de los productos (Inguglia *et al.*, 2017).

Hay diferentes técnicas comerciales de salado, como el curado seco, curado con salmuera o una combinación de ambas. En los dos casos 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. En la práctica, es necesario un largo tiempo de curado debido a la compleja matriz de la carne, que impide que el cloruro de sodio se distribuya uniformemente dentro de los músculos (Gou *et al.*, 2003). Una combinación de métodos de curado, como la

inyección o la agitación con sal, puede garantizar una rápida penetración de la salmuera en el músculo, lo que aumenta el rendimiento (Casiragi *et al.*, 2007). Sin embargo, estos dos procesos de fabricación pueden inducir defectos en los productos cárnicos.

El daño mecánico causado por la inyección de salmuera puede resultar en contaminación como resultado del uso de agua contaminada, mientras que la perforación de la carne puede causar la pérdida de proteínas solubles (Wang *et al.*, 2016). Sin embargo, debido a la necesidad de un procesamiento rápido y una larga duración requerida para la efectividad (comúnmente 16 h), existe la posibilidad de que se genere un calor excesivo que pueda afectar la calidad del producto y alterar su forma. Da-Cheng *et al.* (2017) analizó los mecanismos del ultrasonido en la retención de agua y dureza de *Longissimus dorsi* durante el proceso de curado. Los análisis de pérdida por compresión y esfuerzo al corte muestran que el curado asistido con ultrasonido aumenta la capacidad de retención de agua y la suavidad en comparación al curado estático.

## LITERATURA CITADA

- Aberle, E. D., J. C. Forrest, D. E. Gerrard, E. W. Mills, H. B. Hedrick, M. D. Judge y R. A. Merkel. 2012. Principles of meat science. 4a ed. Editorial Kendall/Hunt Publishing Company. Estados Unidos.
- Albu, S., E. Joyce, L. Paniwnyk, J.P. Lorimer y T.J. Mason. 2004. Potential for the use of ultrasound in the extraction of antioxidants from *Rosmarinus officinalis* for the food and pharmaceutical industry. Ultrason. Sonochem. 11:261-265.
- Alligar, H. 1975. Ultrasonic disruption. Am. Lab. 10:75-85.
- Andersen, H. A., N. Oksbjerg, J. F. Young y M. Therkildsen. 2005. Feeding and meat quality – a future approach. Meat Sci. 70:543-554.
- Andres, S., I. Murray, E.A. Navajas, A.V. Fisher, N. R. Lambe y L. Bunger. 2007. Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy. Meat Sci. 76:509-516.
- Ashmore, C. R. 1974. Phenotypic expression of muscle fiber types and some implications to meat quality. J. Anim. Sci. 38:1158-1164.
- Awad, T. S., H. A. Moharram, O. E. Shaltout, D. Asker, y M. M. Youssef. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review. Food Res. Int. 48 410–427.
- Banovic, M., K. G. Grunert, M. M. Barreira, y M. A. Fontes. 2009. Beef quality perception at the point of purchase: a study from Portugal. Food Qual. Pref. 20, 335–342.
- Barekat, S., y N. Soltanizadeh. 2018. Effects of Ultrasound on Microstructure and Enzyme Penetration in Beef Longissimus lumborum Muscle, Food Bioprocess Tech. 11 ,680–693.
- Botta, C., I. Ferrocino, M. C. Caballero, S. Riva, M. Giordano, y L. Cocolin. 2018. Potentially active spoilage bacteria community during the storage of vacuum packaged beefsteaks treated with aqueous ozone and electrolyzed water. Int. J. Food Microbiol. 266, 337–345.
- Brody, A. L. 1997. Packaging of food. In A. L. Brody & K. S. Marsh (Eds.), The Wiley encyclopedia of packaging. 2nd ed. New York: Wiley, pp. 699–704.
- Brooks, J. C., J. B. Belew, D. B. Griffin, B. L. Gwartney, D. S. Hale, W. R. Henning, D. D. Johnson, J. B. Morgan, F. C. Parrish, Jr., J. O. Reagan, y J. W. Savell. 2000. National Beef Tenderness Survey. 1998. J. Anim. Sci. 78:1852–1860.

- Brooks, J. C., M. Alvarado., T. P. Stephens, J. D. Kellermeier., A. W. Tittor., M. F. Miller y M. M. Brashears. 2007. Spoilage and safety characteristics of ground beef packaged in traditional and modified atmospheres packages. *J. Food Prot.* 71(2):293-301.
- Brunsnø, K., L. Bredahl, K. G. Grunert, y J. Scholderer. 2005. Consumer perception of the quality of beef resulting from various fattening regimes. *Livest. Prod. Sci.* 94(1–2), 83–93.
- Calkins, C. R., T. R. Dutson., G. C. Smith., Z. L. Carpenter., y G. W. Davis. 1981. Relationship of fiber type composition to marbling and tenderness of bovine muscle. *J. Food Sci.*46:708–710.
- Canselier, J. P., H. Delmas, A. M. Wilhelm, y B. Abismail. 2002. Ultrasound emulsification: An overview. *J. Disper. Sci. Technol.* 23, 333-349.
- Cárcel, J. A., J. V. Garcia-Perez, J. Benedito, y A. Mulet. 2012. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. *J. Food Eng.* 110(2):200-207.
- Caraveo, O., A. D. Alarcon-Rojo, A. Renteria, E. Santellano, y L. Paniwnyk. 2015. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with highintensity ultrasound and stored at 4 °C. *J. Sci. Food Agric.* 95, 2487–2493.
- Cassens, R. G., y C. C. Cooper. 1971. Red and White Muscle. *Adv. Food Res.* 19:1.
- Chang, H. J., X. L. Xu., G. H. Zhou., C. B. Li., y M. Huang. 2009. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing. *Food Bioprocess Tech.* 5:285-297.
- Chang, H.-J., Q. Wang, C.-H. Tang, y G.-H. Zhou. 2015. Effects of Ultrasound Treatment on Connective Tissue Collagen and Meat Quality of Beef Semitendinosus Muscle. *J. Food Qual.* 38, 256–267.
- Chemat F., Zill-e-Huma., y M. K. Khan. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason. Sonochem.* 18:813.
- Commission International De l'Eclairage (1976). *Colorimetry*. 2nd ed. Vienna, Switzerland: CIE.
- Damez, Jean-Louis, y S. Clerjon. 2008. Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science* 80, 132–149.

- Da Mota, V. M., y E. Palau. 1999. Acoustic drying of onion. *Drying Technology*, 17, 855-867.
- De Lima Alves, L., M. S. da Silva, D. R. M. Flores, D. R. Athayde, A. R. Ruviaro, D. Brum, V. S. F. Batista, R. de Oliveira Mello, C. R. de Menezes, P. C. B. Campagnol, R. Wagner, J. S. Barin, A. J. Cichoski, M. Stefanello da Silva, D. R. Martins Flores, D. Rodrigues Athayde, A. Roggia Ruviaro, D. da Silva Brum, V. S. Fagundes Batista, R. de Oliveira Mello, C. Ragagnin de Menezes, P. C. Bastianello Campagnol, R. Wagner, J. Smanioto Barin, y A. J. Cichoski. 2017. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. *Food Res. Int.* 106, 363–373.
- Demirdöven A., y T. Baysal. 2009. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Rev. Int.* 25:1.
- Demirdöven, A., y T. Baysal. 2009. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Rev. Int.* 25, 1e11.
- Dolatowski, Z., D. M. Stasiak., y A. Latoch. 2000. Effect of ultrasound processing of meat before freezing on its texture after thawing. *Electr. J. Polish Agric. Univer.* 3(2).
- Dolatowski Z.J., J. Standnik, y D. Stasiak. 2007. Applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 6(3), 89-99.
- Esmer, O. K., R. Irkin, N. Degirmencioglu, y A. Degirmencioglu. 2011. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. *Meat Sci.* 88, 221–226.
- Farber, J. M. 1991. Microbiological aspects of modified atmosphere packaging technology-a review. *J. Food Prot.* 54:58-70.
- Fellows P. J., 2000. *Food processing technology: Principles and practice.* Woodhead Publishing.
- Floros, J. D., y H. Liang. 1994. Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *Food Technol.* 48, 79–84.
- Gallego-Juárez, J., G. Rodriguez, V. Acosta, y E. Riera. 2010. Power ultrasonic transducers with extensive radiators for industrial processing. *Ultrason. Sonochem.* 17(6), 953–964.
- Gallego-Juárez, J. A. 2010. High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances. *Phys. Procedia.* 3:35.

- Ghafoor, K., Y. H. Choi, J. Y. Jeon, y I. H. Jo. 2009. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from grape (*Vitis vinifera*) seeds. *J. of Agric Food Chem.* 57, 4988-4994.
- Got F., J. Culioli, P. Berge, X. Vignon, T. Astruc, J.M. Quideau, y M. Lethiecq. 1999. Effects of high-intensity high frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physicochemical properties of beef. *Meat Sci.* 51, 35-42.
- Grandin, T. 2010. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Sci.* 86, 56–65.
- Grindflek, E., T.H.E. Meuwissen, T. Aasmundstad, H. Hamland, M.H.S. Hansen, T. Nome, M. Kent, P. Torjesen, y S. Lien. 2011. Revealing genetic relationships between compounds affecting boar taint and reproduction in pigs. *J. Anim Sci.* 89, 680–692.
- Hamlin K. E., R. D. Green, L. V. Cundiff, T. L. Wheeler, M. E. Dikeman, 1995. Real-time ultrasonic measurement of fat thickness and longissimus muscle area: II. Relationship between real-time ultrasound measures and carcass retail yield. *J. Anim. Sci.* 73, 1725-1734.
- Hocquette, J. F., F. Gondret, E. Baeza, F. Medale, C. Jurie, y D.W. Pethick. 2010. Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development genetic and nutritional control and identification of putative markers. *Animal*, 4(2), 303–319.
- Houghton P. L., L. M. Turlington, 1992. Application of ultrasound for feeding and finishing animals. A review. *J. Anim. Sci.* 70, 930-941.
- Huang, Q., L. Li, y X. Fu. 2007. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. *Starch*, 59, 371-378.
- Jayasooriya S. D., B. R. Bhandari, P. Torley, B. R. D'Arcy. 2004. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *Int. J. Food Prop.* 7, 2, 301-319.
- Jayasooriya S. D., P. J. Torley, B. R. D'Arcy, y B. R. Bhandari. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Sci.* 75, 628-639.
- Jenkins, W. A., y J. P. Harrington. 1991. Packaging of foods with plastics. Lancaster: Technomic Publishing Co.
- Jeremiah, L. E., M. E. R. Dugan, J. L. Aalhus, y L. L. Gibson. 2003. Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Sci.*, 65, 985–992.

- Joo, S. T., R. G. Kauffman, B. C. Kim, y C. J. Kim. 1995. The relationship between color and water-holding capacity in post-rigor porcine longissimus muscle. *Journal of Muscle Foods*, 6(3), 211–226.
- Joo, S. T., y G. D. Kim. 2011. Meat quality traits and control technologies. Control of meat quality (pp. 1–29). : Research Signpost.
- Joo, S. T., G. D. Kim, Y. H. Hwang, y Y. C. Ryu. 2013. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Sci.*, 95, 828–836.
- Jones, S. J., D. E. Burson, y C. R. Calkins. 2001 Muscle Profiling and Bovine Myology (CDROM). Natl. Cattlemen's Beef Assoc., Centennial, CO.
- Jones, S. J., A. Guru, V. Singh, B. Carpenter, C. R. Calkins, y D. Johnson. 2004. Bovine Myology and Muscle Profiling. Available: <http://bovine.unl.edu>.
- Kang, D., Y. Zou, Y. Chen, L. Xing, G. Zhou, y W. Zhang. 2016. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing, *Ultrason. Sonochem.* doi:10.1016/j.ultsonch.2016.04.024.
- Kentish S. y H. Feng. 2014. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. *Annu. Rev. Food Sci.* 5:263.
- Kirchofer, K. S., C. R. Calkins, y B. L. Gwartney. 2002. Fiber-type composition of muscles of the beef chuck and round. *J. Anim. Sci.* 80:2872–2878.
- Kjartansson, G. T., S. Zivanovic, K. Kristbergsson, y J. Weiss. 2006. Sonication-assisted extraction of chitin from shells of fresh wáter prawns (*Macrobrachium rosenbergii*). *J. Agric. Food Chem.* 54, 3317-3323.
- Klont, R. E., V. Barnier, L. Brocks, C. van Crujningen, A. van Dijk, G. Eikelenboom, A. H. Hoving-Bolink, y A. Oliver. 1998. Colour, colour stability and ageing rate of different veal muscles in relation to pteslaughter blood haemoglobin content. *ID-DLO report 98.011*, IDDLO, Lelystad.
- Krystallis, A., G. Chryssochoidis, y J. Scholderer. 2007. Consumer-perceived quality in 'traditional' food chains: the case of the Greekmeat supply chain. *Appetite*, 48(1), 54–68.
- Knorr D., M. Zenker, V. Heinz, y D.-U. Lee. 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci. Techn.* 15, 261-266.
- Lawrie, R. A. 1985. *Meat Science*. 4th ed. Pergamon Press, New York.

- Leighton, T.G. 1998. The principles of cavitation. In M. J. W. Povey, T. J. Mason (Eds.), *Ultrasound in food processing* (pp.151-182). Chapman & Hall, London.
- Liu, Q., M. C. Lanari, y D. M. Schaefer. 1995. A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *J. Anim. Sci.* 73(10), 3131–3140.
- Li, X., G. Lindahl, G. Zamaratskaia, y K. Lundstrom. 2012. Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging. *Meat Sci.* 92, 604–609.
- Lund, M. N., M. S. Hviid y L. H. Skibsted. 2007. The combined effect of antioxidants and modified atmosphere packaging on protein and lipid oxidation in beef patties during chill storage. *Meat Sci.* 76:226-233.
- Lyng, J. G., P. Allen., y B. M. Mckenna. 1997. The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. *J. Muscle Foods*, 8, 237-249.
- Mason, T. J. 1998. Power ultrasound in food processing. The way forward. In: Povey, M. J. W. and Mason, T. J. (Eds.). *Ultrasound in food processing*. (pp.105-126) Chapman & Hall, London.
- Mason, T. J., y E. D. Cordemans. 1996. Ultrasonic intensification of chemical processing and related operations: A review. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers.* 74,511-516.
- Mason, T.J., y J.P. Lorimer. 2002. *Applied sonochemistry. The uses of power ultrasound in chemistry and processing.* Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Mason, T. J., L. Paniwnyk, y J.P. Lorimer. 1996. The uses of ultrasound in food technology. *Ultrason. Sonochem.* 3, S253-S260.
- Mason, T. J. 2003. Sonochemistry and sonoprocessing: the link, the trends and (probably) the future. *Ultrason. Sonochem.* 10, 175e179.
- McClements, D. J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6, 293-299.
- Mc Keith, F.K., D. L. De Vol, R. S. Miles, P. J. Bechtel, y T. R. Carr. 1985. Chemical and Sensory Properties of Thirteen Major Beef Muscles. *J. Food Sci.* Volume 50 869-872.

- McMillin, K. W., N. Y. Huang, C. P. Ho, y B. S. Smith. 1999. Quality and shelf-life of meat in case-ready modified atmosphere packaging. In Y. L. Xiong, F. Shahidi, & C. T. Ho (Eds.), *Quality attributes in muscle foods* (pp. 73–93). New York: ACS Symposium Series, Plenum Publishing Corporation.
- McMillin, K. W. (2008). Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Sci.* 80, 43–65.
- Melton, C. C., M. E. Dikeman., H. J. Tuma., y R. R. Schalles. 1974. Histological relationships of muscle biopsies to bovine meat quality and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 38:24–31.
- Mihindukulasuriya, S. D. F., y L.-T. Lim. 2014. Nanotechnology in development in food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology* 40, 149–167.
- Mize, J., y J. Kelly. 2004. America's dynamic meat case. Cryovac retail wrap-up, December 2004.
- Monson, F., C. Sanudo, y I. Sierra. 2005. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Sci.* 71, 471–479.
- Muchenje, V., K. Dzama, M. Chimonyo, P.E. Strydom, A. Hugo, y J.G. Raats. 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chemistry* 112, 279–289.
- Muir, P. D., J. M. Beaker, y M. D. Brown. 1998. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: A review. *New Zeal. J. Agr. Res.* 41, 623–635.
- O'Connor-Shaw, R. E. y V. G. Reyes. 2000. Use of modified atmosphere packaging. En *Encyclopedia of Food Microbiology*. R. K. Robinson, C. A. Batt y P. D. Patel, ed. Academic Press, California, EUA.
- Offer, G., y P. Knight. 1988. The structural basis of water-holding in meat. Part 2: Drip losses. In R. A. Lawrie (Ed.), *Developments in meat science*. Vol. 4 (pp. 172–243). London: Elsevier Applied Science.
- Offer, G., y J. Trinick. 1983. On the mechanism of water-holding in meat: The swelling and shrinkage of myofibrils. *Meat Sci.* 8, 245–281.
- Ojha, K. S., D. F. Keenan, A. Bright, J. P. Kerry, y 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.

- Patist, A., y D. Bates. 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: from the laboratory to commercial production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 9, 147-154.
- Peshkovsky, A. S., y S. L. Peshovsky. 2010. Acoustic cavitation theory and equipment design principles for industrial applications of high-intensity ultrasound. Nova Science Publishers Inc., New York.
- Peña-González, E. M. M., A. D. Alarcón-Rojo, A. Rentería, I. García, E. Santellano, A. Quintero, y L. Luna. 2017. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. *Ital. J. Food Sci.* 29 ,463–475.
- Pohlman, F. W. M. E. Dikeman, y J. F. Zayas. 1997. The effects of low intensity ultrasound treatment on shear properties, colour stability and shelf-life of vacuum-packaged beef Semitendinosus and Biceps femoris muscle. *Meat Sci.* 45 (3), 329–337.
- Priolo, A., D. Micol, y J. Agabriel. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour: A review. *Animal Research*, 50, 185–200.
- Razminowicz, R. H., M. Kreuzer, y M. R. Scheeder. 2006. Quality of retail beef from two grass-based production systems in comparison with conventional beef. *Meat Sci.* 73, 351–361.
- Roberts, T. R. 1993. High intensity ultrasonics in food processing. *Chem. Ind.* 4, 119–121.
- Šcetar, M., M. Kurek, y K. Galic. 2010. Trends in meat and meat products packaging – a review. *Croat. J. Food Sci. Technol.* 2 (1) 32-48.
- Seideman, S. C., y L. K. Theer. 1986. Relationships of instrumental textural properties and muscle fiber types to the sensory properties of beef. *J. Food Qual.* 9:251–261.
- Seshadri, R., J. Weiss, G. J. Hulbert, y J. Mount. 2003. Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of highmethoxyl pectin dispersions. *Food Hydrocolloids*, 17, 191-197.
- Seyfert, M., M. C. Hunt., R. A. Mancini., K. A. Hachmeister., D. H. Kropf., J. A. Unruh., y T. M. Loughin. 2005. Beef quadriceps hot boning and modified-atmosphere packaging influence properties of injection-enhanced beef round muscles. *J. Anim. Sci.* 83:686-693.
- Sikes, A. L., R. Mawson, J. Stark, y R. Warner. 2014. Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 21, 2138–2143.

- Smith, N. B., J. E. Cannon, J. E. Novakofsky, F. K. McKeith, W. D. O'Brien, Jr. 1991. Tenderization of Semitendinosus muscle using high intensity ultrasound. *Ultrasonics Symp. Lake Beuna Vista, 2*, 1371–1373.
- Stelzleni, A. M., L. E. Patten, D. D. Johnson, C. R. Calkins, y B. L. Gwartney. 2007. Benchmarking carcass characteristics and muscles from commercially identified beef and dairy cull cow carcasses for Warner-Bratzler shear force and sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 85:2631–2638.
- Soria, A. C., y M. Villamiel. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 21 323-331.
- Song, X., D. Cornforth, D. Whittier, y X. Luo. 2015. Nitrite spray treatment to promote red color stability of vacuum packaged beef. *Meat Sci.* 99, 8–17.
- Terefe, N. S., A. L. Sikes., y P. Juliano. 2016. Ultrasound for structural modification of food products. In: Knoerzer K., Juliano P., Smithers G.W. *Innovative Food Processing Technologies: Extraction, Separation, Component Modification and Process Intensification.* Woodhead Publishing, 510p.
- Thongson, C., P. M. Davidson, W. Mahakarnchanakul, y J. Weiss. 2004. Antimicrobial activity of ultrasound-assisted solvent-extracted spices. *Letters in Applied Microbiology*, 39, 401-406.
- Torngren, M. A. 2003. Effect of packaging method on color and eating quality of beef loin steaks. *Página 495 en Memorias del 49th International Congress of Meat Science and Technology.* Brazil.
- Troy, D. J., y J. P. Kerry. 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Sci.* 86, 214–226.
- Unver A. 2016. Applications of ultrasound in food processing. *Green Chem. & Technol. Lett.* 3:121.
- Van Rooyen, L. A., P. Allen, S. M. Crawley, y D. I. O'Connor. 2017. The effect of carbonmonoxide pretreatment exposure time on the color stability and quality attributes of vacuum packaged beef steaks. *Meat Sci.* 129, 74–80.
- Venel, C., A. M. Mullen, G, Downey, y D. J. Troy. 2001. Prediction of tenderness and other quality attributes of beef by near infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1100 nm, further studies. *J. Near Infrared Spec.* 9, 185–198.
- Verbeke, W., L. VanWezemaal, M.D. de Barcellos, J.O. Kugler, J.F. Hocquette, O. Ueland, y K.G. Grunert. 2010. European beef consumers' interest in a beef

- eating-quality guarantee. Insights from a qualitative study in four EU countries. *Appetite*, 54(2), 289–296.
- Vercet, A., R. Oria, P. Marquina, S. Crelier, y P. Lo´pez-Buesa. 2002. Rheological properties of yoghurt made with milk submitted to manothermosonication. *J. Agric Food Chem.* 50, 6165-6171.
- Von Seggern, D. 2000. Characterization of the muscles of the beef chuck and round. M. S. Thesis, Univ. Nebraska, Lincoln.
- Wang, A., D. Kang, W. Zhang, C. Zhang, Y. Zou, y G. Zhou. 2018. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef M. semitendinosus by the application of ultrasound. *Food Chem.* 245, 724–730.
- Wild J.J. 1950. The use of ultrasonic pulses for measurement of biological tissues and the detection of tissue density changes. *Surgery* 27, 183-188.
- Wilson D.E., 1992. Application of ultrasound for genetic improvement. *J. Anim. Sci.* 70, 973--983.
- Wu, H., G. J. Hulbert, y J. R. Mount. 2001. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 1, 211-218.
- Yang T., y S. Da-Wen. 2013. Enhancement of food processes by ultrasound: a review. Article in *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- Yeung, C. K., y S. C. Huang. 2017. Effects of Ultrasound Pretreatment and Ageing Processing on Quality and Tenderness of Pork Loin, *J. Food Nutr. Res.* 5, 809–816.
- Zayatas, Y. 1971. Effect of ultrasound on animal tissues. *Myasnaya-Industriya SSSR*, 42 (3), 33–35.
- Zhang, S. X., M.M. Farouk, O.A. Young, K.J. Wieliczko, y C. Podmore. 2005. Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Sci.* 69, 765–772.
- Zhou, G. H., X. L. Xu, y Y. Liu. 2010. Preservation technologies for fresh meat – a review. *Meat Sci.* 86, 119–128.

**ESTUDIO I. PROPIEDADES SENSORIALES EN CARNE DE CERDO  
CURADA ASISTIDA CON ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD**

POR:

German Contreras López<sup>1</sup>, Andrea Carnero Hernández<sup>1</sup>, Luis Manuel Carrillo  
López<sup>1,2</sup> y Mariana Huerta Jiménez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua

<sup>2</sup> Programa Cátedras CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,  
México.

## RESUMEN

### PROPIEDADES SENSORIALES EN CARNE DE CERDO CURADA ASISTIDA CON ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD

POR:

M.V.Z. GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Dr. Luis Manuel Carrillo López

En el esfuerzo de reducir los tiempos de curado con salmuera, la industria del procesado de la carne está continuamente buscando alternativas para acelerar este proceso. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la ultrasonicación en el marinado de *Longissimus dorsi* de cerdo. Se estudiaron tres factores: tipo y tiempo de marinado y grosor de músculo. Para el marinado se preparó salmuera al 2% con NaCl. Se realizó un Análisis Descriptivo Cuantitativo utilizando 8 panelistas semi-entrenados. Los atributos sensoriales evaluados fueron saturación, dureza, densidad, jugosidad, sabor salado, volátiles, residualidad y elasticidad. La aplicación de ultrasonido como tecnología asistida al marinado disminuye la percepción en la dureza y la densidad y aumenta la jugosidad de *L. dorsi*, mientras que cortes delgados (1.25 cm) fueron percibidos más salados y con menor jugosidad.

## **ABSTRACT**

### **SENSORIAL PROPERTIES IN CURED PORK MEAT ASSISTED WITH HIGH INTENSITY ULTRASOUND**

**BY:**

**GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ**

In the effort to reduce curing times with brine, the meat processing industry is continuously looking for alternatives to accelerate this process. The objective of this research was to evaluate the effect of ultrasonication on the marinade of *Longissimus dorsi* pork. Three factors were studied: type and timing of marinade and muscle thickness. For the marinade 2% brine with NaCl was prepared. A Quantitative Descriptive Analysis was performed using 8 semi-trained panelists. The sensory attributes evaluated were saturation, toughness, density, juiciness, salty taste, volatile, residuality and elasticity. The application of ultrasound as a technology assisted to marinade decreases the perception in toughness and density and increases the juiciness of *L. dorsi*, while thin cuts (1.25 cm) were perceived more salty and less juicy.

## INTRODUCCIÓN

El curado de la carne es uno de los métodos más antiguos para preservación de la carne. Este involucra la adición de sales, principalmente NaCl y nitratos, los cuales contribuyen positivamente en las características tecnológicas y sensoriales de la carne (Ojha *et al.*, 2016). 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, el sabor, la jugosidad y la ternura de los productos (Inguglia *et al.*, 2017).

Hay diferentes técnicas comerciales de salado, como el curado seco, curado con salmuera o una combinación de ambas. En los dos casos el movimiento de la sal y el agua fuera de la carne se rigen por varios factores, como el tipo de carne, la concentración de sal y el tiempo de curado (Kumari *et al.*, 2016). En la práctica, es necesario un largo tiempo de curado debido a la compleja matriz de la carne, que impide que el cloruro de sodio se distribuya uniformemente dentro de los músculos (Gou *et al.*, 2003).

Existe interés entre los fabricantes de carne procesada en acelerar la absorción de sal en la carne, además de lograr perfiles de sal uniformes (Turhan *et al.*, 2013). El ultrasonido de baja frecuencia y alta intensidad, también conocido como ultrasonido de potencia, se emplea en la industria alimentaria para acelerar los procesos de salmuera y mejorar la transferencia de masa. En el procesamiento de carne, el ultrasonido de potencia puede modificar las membranas celulares a través de la cavitación, ayudando al curado, marinado, secado y ablandamiento del tejido y en la mejora de la calidad de los alimentos y el perfil de seguridad de los productos (Ozuna *et al.*, 2013).

Existen dos vías de curado en carne: seca y húmeda. Esta última se ha combinado con el ultrasonido de alta intensidad (US) como tecnología asistida, obteniendo resultados favorables como el reportado por Cárcel *et al.* (2007), quienes encontraron que la transferencia de masa durante el curado de carne de cerdo asistido por US depende de la intensidad. El ultrasonido produce burbujas que golpean al sólido, produciendo una micro-inyección de la salmuera que incrementa el contenido de NaCl en la carne de cerdo. En otro estudio Siró *et al.* (2009) también observaron que el US (baja intensidad y baja frecuencia) causó cambios microestructurales favorables en lomo de cerdo curado con NaCl, los cuales fueron dependientes de la intensidad.

Los efectos del ultrasonido como tecnología asistida al curado, aún no son concluyentes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del ultrasonido (US) como tecnología asistida al marinado sobre las características sensoriales de *Longissimus dorsi* de cerdo considerando el estudio de tres factores: grosor del músculo, tiempo de inmersión y tipo de marinado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron músculos *Longissimus dorsi* con 48 h *post-mortem*, cuyo peso osciló entre 5-6 kg; se recibieron a -12 °C, provenientes de una empresa comercial en Chihuahua, México. Los músculos fueron parcialmente descongelados a 4°C durante 48 h. Se obtuvieron cortes de 2.54 y 1.25 cm y se retiraron la grasa y tejido conectivo.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres factores: grosor de músculo (2.54 y 1.25 cm), tiempo de US (30 y 90 min) y tipo de marinado (asistido por US y tradicional MT). Las muestras se asignaron al azar a cada uno de los 8 tratamientos. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, obteniendo un total de 24 cortes para ser evaluados.

Se preparó salmuera al 2% de NaCl y se mantuvo a 4 °C. Cada muestra fue colocada en bolsas comerciales de polietileno (FAB®) con 0.5 L de salmuera y se asignaron los tratamientos correspondientes. Para el marinado tradicional las muestras de 2.54 y/o 1.25 cm estuvieron en contacto con la salmuera según los tiempos evaluados (30 o 90 min), mientras que en el marinado asistido por US las muestras fueron ultrasonificadas individualmente durante 30 o 90 min en un baño ultrasónico Elmasonic® S60H conteniendo agua destilada a 4 °C.

Después de 7 d de maduración a 4 °C las muestras fueron cocinadas para el análisis descriptivo cuantitativo (ADC). Un grupo de 8 panelistas fueron entrenados de acuerdo con los procedimientos de Meilgaard et al. (2006). La definición de los atributos sensoriales, según lo acordado y discutido por los panelistas, se muestran en el Cuadro 1. Las evaluaciones se realizaron en cabinas individuales del Laboratorio de Análisis Sensorial; se utilizaron filtros

Cuadro 4. Descripción de los atributos sensoriales utilizados en el análisis descriptivo cuantitativo de lomo de cerdo

Característica	Atributo	Definición
<b>Apariencia</b>	Saturación	Pureza del color en la superficie de la carne (0 = opaco, 15 = brillante)
<b>Textura</b>	Dureza	Fuerza requerida para lograr la deformación del músculo (0 = suave, 15 = dura)
	Densidad	Compacidad de la sección transversal (0 = ligera, 15 = pesada)
	Elasticidad	Velocidad de regreso a la forma original después de la deformación (0 = poco, 15 = mucho).
	Jugosidad	Liberación de jugos (agua/grasa) durante la masticación (0 = poco, 15 = mucho)
<b>Flavor</b>	Sabor salado	Gusto básico estimulado por sales de sodio (0 = poco, 15 = mucho)
	Aromáticos	Percepciones olfativas causadas por sustancias volátiles liberadas por la carne en la boca vía fosas posteriores (0 = poco, 15 = mucho)
	Residualidad	Sensación olfato-gustativa que aparece después del que la carne ha sido tragada (0 = poca, 15 = mucha)

rojos para enmascarar tonos. El cocinado se realizó en planchas eléctricas (George Foreman®) a 72 °C en el centro geométrico de la muestra y fueron servidas inmediatamente en platos de vidrio. Se proporcionó agua baja en sales para enjuague entre muestras.

Para el ADC se utilizó una escala estructurada de 15 cm con anclas de 1.5 cm en cada lado. Se realizó una prueba de preferencia por ordenamiento y los datos se analizaron mediante una prueba de Friedman con el software MINITAB v.18. Los resultados del ADC fueron analizados en SAS v. 9.4 mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y Análisis de Componentes Principales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas en la dureza, densidad y jugosidad entre muestras marinadas con asistencia de US y aquellas marinadas tradicionalmente ( $P < 0.0001$ ). La carne marinada con US se percibió menos dura y densa y con mayor jugosidad (Cuadro 5).

Con relación al grosor, también se encontraron diferencias ( $P < 0.0001$ ), ya que los panelistas percibieron más jugosas las muestras de 2.54 cm, mientras que contrariamente la carne de 1.25 cm fue percibida como más salada. Estos resultados son interesantes porque presumiblemente nos indican que en muestras delgadas hay mayor transferencia de solutos (sales) durante el proceso de marinado, y que en las muestras gruesas, aunque hay menor transferencia perceptible sensorialmente de sal, poseen mayor retención de agua.

Estudios sobre marinado y transferencia de sales en carne como el de Siro *et al.* (2009), evidenciaron cambios microestructurales por efecto del ultrasonido; estos investigadores observaron un incremento en la distancia entre fibras musculares y disminución en la dureza de la carne; además, los panelistas percibieron sensorialmente mayor suavidad en aquellas muestras tratadas con US.

Con relación al grosor del músculo, los estudios llevados a cabo por Cárcel *et al.* (2007) soportan los resultados de la presente investigación donde se observó una mayor retención de agua en músculos tratados con US. Estos investigadores encontraron que los campos de US de alta intensidad incrementan directamente el contenido de NaCl y agua en carne microinyectada con salmuera.

Cuadro 5. Evaluación sensorial de *Longissimus dorsi* porcino marinado tradicionalmente (MT) y/o asistido con US (media  $\pm$  D.E.).

Factor		Descriptor <sup>2</sup>							
		Sat.	Dur.	Den	Jug.	Sal.	Vol.	Resi	Ela.
				s.				d.	
Tiempo (min)	90	7.1 $\pm$	5.0 $\pm$	5.4 $\pm$	8.2 $\pm$	4.9 $\pm$	5.9 $\pm$	6.6 $\pm$	4.5 $\pm$
		3.9 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>
	30	7.9 $\pm$	4.6 $\pm$	5.0 $\pm$	8.0 $\pm$	4.5 $\pm$	6.4 $\pm$	6.4 $\pm$	5.0 $\pm$
		3.5 <sup>a</sup>	3.1 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.1 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>
Grosor (cm)	2.54	7.5 $\pm$	4.8 $\pm$	5.3 $\pm$	8.7 $\pm$	3.9 $\pm$	6.1 $\pm$	6.6 $\pm$	4.8 $\pm$
		3.3 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.1 <sup>a</sup>
	1.25	7.4 $\pm$	4.8 $\pm$	5.1 $\pm$	7.6 $\pm$	5.6 $\pm$	6.2 $\pm$	6.4 $\pm$	4.7 $\pm$
		3.3 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	3.2 <sup>b</sup>	3.1 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>
Marinado	US	7.6 $\pm$	4.2 $\pm$	4.6 $\pm$	8.7 $\pm$	4.6 $\pm$	6.3 $\pm$	6.7 $\pm$	4.7 $\pm$
		3.3 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>	3.1 <sup>a</sup>	3.1 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>
	MT	7.3 $\pm$	5.4 $\pm$	5.8 $\pm$	7.6 $\pm$	4.8 $\pm$	6.1 $\pm$	6.3 $\pm$	4.9 $\pm$
		3.2 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	3.2 <sup>b</sup>	2.8 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Valores con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ). Los valores indican la distancia en cm marcada por los panelistas en la escala estructurada de 15 cm, donde el ancla izquierda es “menor” y el ancla derecha es “mayor”; por ejemplo, para dureza un valor cercano a 1 indica menor dureza y un valor cercano a 15 indica mayor dureza.

<sup>2</sup> Sat.= saturación, Dur.= dureza, Dens.= densidad, Jug.= jugosidad, Sal.= salado, Vol.= volátiles, Resid.= residualidad, Ela.= Elasticidad.

McDonnell *et al.* (2014) encontraron que los tratamientos con US en carne de cerdo curada tuvieron un efecto potencialmente positivo en la textura de la carne al disminuir la cohesividad (fuerza de unión dentro del alimento), la dureza (fuerza durante la primera compresión) y la gomosidad sin ningún efecto perjudicial en otros parámetros de calidad; en este caso, la densidad medida sensorialmente equivale a la cohesividad medida objetivamente mediante el análisis de perfil de textura, por lo que los resultados del presente estudio son semejantes a los obtenidos por estos investigadores en cuanto a la disminución de la densidad en muestras curadas tratadas con US. En otros estudios como el de González-González *et al.* (2007) tampoco encontraron diferencias significativas en la aceptación de carne de bovino marinada mediante US y por inmersión. Sin embargo el estudio lo realizaron con consumidores y recomendaron realizar un análisis descriptivo con panelistas entrenados. Resultados semejantes a los del presente estudio fueron obtenidos por Peña-González *et al.* (2017), quienes reportaron que muestras tratadas con US (40 kHz, 11 W\*cm<sup>-2</sup>) durante 60 min fueron percibidas como más suaves y jugosas que los controles después de 14 días de almacenamiento a 4 °C.

Los resultados del análisis de los componentes principales mostraron que el 43.61% de la información total está representada por el primer factor y el 39.09% por el segundo factor, que en conjunto explican el 82.7% de la variación total de los datos. El primer componente relacionó positivamente jugosidad con volátiles. A mayor jugosidad el músculo retiene más aminoácidos, minerales y ácidos grasos, quienes confieren sabor y aroma. El segundo componente relacionó positivamente dureza y densidad; las fibras musculares más compactas

Cuadro 6. Componentes principales de los descriptores sensoriales de *Longissimus dorsi* porcino de 2.54 y/o 1.25 cm de grosor, marinado con asistencia de US y/o marinado tradicionalmente (por inmersión) durante 30 y/o 90 min

Descriptor	Componente principal				
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5
Saturación	0.33080	0.3757	-0.19743	0.42599	-0.50193
Dureza	-0.34830	0.4842	0.25936	-0.14716	-0.41847
Densidad	-0.42517	0.4298	0.06512	0.07067	-0.01855
Jugosidad	0.40993	-0.0129	-0.39855	0.14280	-0.23500
Salado	0.17255	0.0131	0.63740	0.67818	0.24755
Volátiles	0.40828	0.3438	0.12817	-0.36290	0.32087
Residualidad	0.39367	0.4540	0.10486	-0.25569	0.20664
Elasticidad	-0.26265	0.3388	-0.54492	0.33832	0.557156

proporcionan mayor dureza. El tercer componente relacionó al salado con la elasticidad, pues la sal tiene la capacidad de ablandar al músculo, confiriendo menor elasticidad. El cuarto componente relacionó al salado con la saturación (croma), por lo que se considera que habiendo una mayor transferencia de sales en el músculo se produjo mayor brillo. Finalmente, el quinto componente relacionó a la saturación con la dureza (Cuadro 6).

El análisis multivariado de los atributos sensoriales evaluados es una técnica muy poderosa porque permite reducir los atributos y explicar las correlaciones entre estos en términos de un menor número de variables observadas (factores). A este respecto, estudios como el de Mwove *et al.* (2018), quienes estudiaron la relación entre 24 mediciones de calidad de carne de res inyectada con salmuera conteniendo goma arábiga y concentrado de proteína de soya bajo dos niveles de inyección (30 y 35%); estos investigadores encontraron que la jugosidad y el mayor nivel de inyección en la carne definía la aceptabilidad general del producto. En cuanto a la evaluación de los panelistas (Figura 5) en el presente estudio se observó la formación de una nube en el centro del gráfico, lo cual indica consistencia en los juicios y trabajo como grupo durante el análisis de las muestras. Sin embargo, la dispersión observada para los panelistas 1, 5 y 6 en la proyección bidimensional de los componentes principales indica que necesitan mayor entrenamiento.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación de ultrasonido como tecnología asistida al marinado disminuye la percepción sensorial de dureza y densidad en *Longissimus dorsi* de cerdo, y aumenta la jugosidad. Las muestras delgadas (1.25 cm) se percibieron más saladas y menos jugosas. En cuanto a los componentes principales, se encontró una relación positiva entre jugosidad-volátiles, dureza-densidad y salado-saturación, mientras que una relación inversa fue encontrada entre salado/saturación con elasticidad.

## LITERATURA CITADA

- Cárcel, J.A., J. Benedito, J. Bon y A. Mulet. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76(4):611-619.
- Gou, P., J. Comaposada y J. Arnau. 2003. NaCl content and temperature effects on moisture diffusivity in the Gluteus medius muscle of pork ham. *Meat Sci.* 63:29-34.
- González-González, L., L. Luna-Rodríguez, L. M. Carrillo-López., A. D. Alarcón-Rojo, I. A. García-Galicia y R. Reyes-Villagrana. 2017. Ultrasound as an alternative to conventional marination: acceptability and mass transfer. *Journal of Food Quality*, 2017(86757209).
- Inguglia, E.S., Z. Zhang, C. Burgess, J. P. Kerry y B. K. Tiwari. 2017. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing. *Ultrasonics.* 83, 164-170.
- McDonnell, C. K., J. G. Lyng y P. Allen. 2014. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat Science*, 98(2), 142–149.
- Meilgaard, M.C., B.T. Carr & G.V. Civille. 2006. *Sensory Evaluation Techniques*. 4<sup>th</sup> ed, CRC Press. 464 p.
- Mwove, J.K., L. A. Gogo, N. N. Chikamai, M. Omwamba y S. M. Mahungu. 2018. Principal component analysis of physicochemical and sensory characteristics of beef rounds extended with gum arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food Science & Nutrition*, 6(2), 474-482.
- Ojha, K.S., F. K. Derek, A. Bright, J. P. Kerry y B.K. Tiwari. 2016. Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of meat pork. *International journal of Food Science Technology*. 51, 37-45.
- Ozuna, C., A. Puig, J. V. Garcia-Perez, A. Mulet y J. A. Carcel. 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations, *Journal Food Engineering*. 119 (1) 84–93
- Peña-González, E.M. A. D. Alarcon-Rojo, A. Rentería, I. A. Garcia-Galicia, E. Santellano, A. Quintero y L. Luna. 2017. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. *Italian Journal of Food Science*, 29, 463-475.
- Shams, N., S. E. Hoseini, y G. H. Asadi. 2016. Analyzing ultrasound effect on physical-chemical properties and evaluation sensory of marinated meat with lactic acid. *Journal of Acoustical Engineering Society of Iran*, 3(2).

- Siro, I., C. Ven, C. Balla, G. Jonas, I. Zeke y L. Friedrich. 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*, 91, 353–362.
- Turhan, S., F. T. Saricaoglu y F. Oz. 2013. The effect of ultrasonic marinating on the transport of acetic acid and salt in anchovy marinades. *Food Science and Technology Research*, 19, 849–853.

**ESTUDIO II. EFECTO DEL GROSOR DE EMPAQUE Y TIPO DE MÚSCULO  
EN LA CALIDAD DE CARNE BOVINA ASISTIDA CON ULTRASONIDO**

## RESUMEN

### EFECTO DEL GROSOR DE EMPAQUE Y TIPO DE MÚSCULO EN LA CALIDAD DE CARNE BOVINA ASISTIDA CON ULTRASONIDO

POR:

M. V. Z. GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Dr. Luis Manuel Carrillo López

Los efectos fisicoquímicos del ultrasonido en la carne han sido ampliamente estudiados. Sin embargo, no existen estudios que hayan evaluado el efecto del ultrasonido de alta intensidad (USAI) en diferentes músculos de bovino empacados al vacío en bolsas de diferente grosor. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del USAI de dos músculos bovinos músculo (*Gluteus medius*, GM y *Biceps femoris*, BF) empacados en bolsas al vacío de bajo grosor, en la calidad físicoquímica, sensorial y microestructural. Se utilizó un diseño completamente al azar con dos factores: grosor de película plástica (35, 50 y 70 micrones) y tiempo de USAI (0 y 40 min). Los resultados mostraron una disminución significativa en la dureza, desde 3.25 hasta 2.59 kgf en el músculo GM, conforme disminuyó el grosor del empaque. La evaluación sensorial y los estudios microestructurales corroboraron el aumento de la suavidad del músculo GM. A pesar de que los espacios interfibrilares e intermiofibrilares se incrementaron significativamente en BF, no se redujo la dureza del músculo.

## ABSTRACT

BY:

GERMÁN CONTRERAS LÓPEZ

The effects of ultrasound on physicochemical parameters of meat have been widely studied. However, there are no studies that have evaluated the effect of high-intensity ultrasound (HIU) on different vacuum packed muscles in bags of different thickness. The objective of this research was to evaluate the effect of the HIU of two bovine muscle muscles (*Gluteus medius*, GM and *Biceps femoris*, BF) packed in vacuum bags of low thickness, in the physicochemical, sensory and microstructural quality. A completely randomized design with two factors was used: plastic film thickness (35, 50 and 70 microns) and two HIU times (0 and 40 min). The results showed a significant decrease in toughness, from 3.25 to 2.59 kgf in the muscle GM, as the packing thickness decreased. Sensory evaluation and microstructural studies corroborated the increase in softness of muscle GM. Although the interfibrillar and intermyofibrillar spaces increased significantly in muscle BF, muscle toughness was not reduced.

## INTRODUCCION

La apariencia de la carne de res es el principal factor de aceptabilidad por el consumidor. Para prevenir la alteración de una buena apariencia, es necesario un empaçado adecuado que brinde protección ante condiciones ambientales y del procesado que pueden ser desfavorables, como la presencia de microorganismos o el contacto con factores químicos y físicos. El ultrasonido de alta intensidad (USAI) es una tecnología que ayuda a minimizar el procesamiento y mejorar la calidad, seguridad y preservación de los alimentos. Esta tecnología es una forma de energía generada por ondas sonoras (presión) de frecuencias altas, no detectadas por el oído humano. Esto es, por encima de 16 kHz (Jayasoorita *et al.*, 2004). En particular, el USAI es una tecnología efectiva para el procesamiento de alimentos y se considera una herramienta segura, no tóxica y amigable con el medio ambiente. La tecnología de USAI se basa en la aplicación de ondas mecánicas que se puede dividir en dos rangos de frecuencia; alta (100 kHz – 1 MHz, potencia  $<1 \text{ Wcm}^{-2}$ ) y baja (16–100 KHz, potencia en un rango de  $10\text{--}100 \text{ Wcm}^{-2}$ ) (Amiri *et al.*, 2018). Es considerada una tecnología innovadora que tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria (Wang *et al.*, 2018). Por esta razón, la aplicación de USAI tienen el propósito de provocar cambios en propiedades físicas y químicas de la carne y sus productos. Esto ha atraído el interés de los investigadores durante las últimas décadas, al ser una técnica física pura, que ofrece una alternativa a los medios químicos o térmicos de procesamiento (Chang *et al.*, 2012). A la fecha, el USAI se usa ampliamente en procesos como la inactivación de microorganismos y enzimas, la extracción y la homogenización (Bevilacqua *et al.*, 2013). En particular, la

implementación del uso convencional del ultrasonido para carne y productos cárnicos es en el ablandamiento y curado (McDonnell *et al.*, 2014; Stadnik *et al.*, 2011; Carcel *et al.*, 2007; Jayasooriya *et al.*, 2004). Diversos estudios se han centrado en el efecto del ultrasonido en ablandamiento de carne (Wang *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2015; Sikes *et al.*, 2014; Peña *et al.*, 2019). Chan *et al.* (2015) reportaron la disminución significativa del esfuerzo de corte en muestras del m. *Semitendinoso* empacadas al vacío y tratadas con ultrasonido durante 30 y 50 min. El empaque de la carne constituye una barrera para producir el efecto de cavitación, por lo que existe divergencia entre los hallazgos reportados en diferentes estudios. Mientras que algunos investigadores han encontrado resultados positivos en el ablandamiento del músculo (Wang *et al.*, 2019, Jayasooriya *et al.*, 2007), otros han reportado un aumento en la dureza (Abdulai *et al.*, 2014). Por lo tanto, es necesario considerar al empaque del músculo como un factor de estudio que asegure efectos positivos en la calidad de la carne.

No existen estudios con carne bovina empacada al vacío que comparen el grosor de empaque y su efecto al ser tratada con ultrasonido. Desde esta perspectiva, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del grosor de las bolsa para empaque al vacío y el tratamiento con ultrasonido sobre la calidad físicoquímica, sensorial y microestructural de los músculos (*Gluteus medius* y *Biceps femoris*) bovinos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y Localización del Estudio

Este estudio se realizó en los laboratorios de Bioquímica y de Análisis Sensorial, de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Para los estudios microestructurales se realizó una estancia de investigación en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, en Texcoco, estado de México.

### Características y Procedencia de las Muestras

Los músculos *Gluteus medius* y *Biceps femoris* se obtuvieron de la empresa Cortes finos añejos® en Chihuahua, México. Los músculos procedieron de animales Angus rojo, con un peso vivo aproximado de 550 kg. Las muestras se recibieron a -12 °C, se descongelaron parcialmente a 4 °C durante 24 h y se retiró la grasa y el tejido conectivo excedente a la vista. Posteriormente se rebanaron en cortes transversales (2.54 cm) a la dirección de las fibras musculares y fueron asignadas a los diferentes tratamientos.

### Tratamientos Evaluados

Se diseñó un experimento completamente al azar con dos factores para cada músculo (*Gluteus medius*, GM y *Biceps femoris*, BF) y tres niveles de película plástica (35, 50 y 70 µm), además de dos factores de aplicación de USAI (con y sin USAI). Las muestras se asignaron al azar a uno de los doce tratamientos (Cuadro 7). Se tuvieron tres repeticiones por tratamiento y se evaluaron un total de 36 porciones de músculo. Las muestras se empacaron al vacío (Koch Supplies Inc., Kansas USA) en bolsas de polietileno con los grosores

Cuadro 7. Asignación de tratamientos por músculo (*Gluteus medius* (GM) y *Biceps femoris* (BF)), considerando dos factores (tiempo de USAI y grosor del empaque) en el diseño experimental.

Tratamiento	Factor USAI	Factor grosor de empaque ( $\mu\text{m}$ )	Músculo
T1	Si	35	GM
T2	Si	50	GM
T3	Si	70	GM
T4	No	35	GM
T5	No	50	GM
T6	No	70	GM
T1	Si	35	BF
T2	Si	50	BF
T3	Si	70	BF
T4	No	35	BF
T5	No	50	BF
T6	No	70	BF

especificados y se trataron con un baño ultrasónico Elmasonic® S60H (37 kHz, 90 Wcm<sup>-2</sup>) durante 0 y/o 40 min (0 y/o 20 min por lado), manteniendo agua destilada a 4 °C como medio de acoplamiento. Posteriormente se almacenaron durante 7 días a 4 °C y se procedió a la evaluación de las variables respuesta.

### **Evaluación Fisicoquímica**

**pH.** El pH fue evaluado con un medidor de pH digital para carne (Sentron, Modelo 1001, Netherlands). Las mediciones fueron tomadas directamente en la carne de acuerdo al método de Honikel (1998). El electrodo se insertó en el músculo perpendicularmente a una profundidad de 2 cm, evitando el contacto con la grasa y tejido conectivo remanentes. Se tomaron tres lecturas en diferentes áreas de la muestra y se obtuvo el promedio.

**Capacidad de Retención de Agua (CRA).** La liberación de exudado fue determinada por el método de compresión propuesto por Tsai y Ockerman (1981), utilizando 0.3 g de muestra. Se utilizó una balanza analítica con una resolución de  $\pm 0.05$  g, papel filtro número 54 (Whatman®) y placas de metacrilato de 2.25 kg. Los resultados se expresaron como porcentaje de exudado liberado, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\% \text{ de exudado} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{peso de la muestra} \times 100$$

La CRA se calculó restando de 100 el resultado del % de exudado. Las determinaciones se realizaron por triplicado en cada muestra y se obtuvieron los promedios.

**Esfuerzo de Corte.** Las muestras se prepararon para el esfuerzo de corte de acuerdo a la metodología de la AMSA (2015). Las muestras se cocinaron en planchas eléctricas (George Foreman®, USA) hasta alcanzar una temperatura

interna de  $71 \pm 0.1$  °C. Entonces se almacenaron durante 12 h a 4 °C y se obtuvieron ocho cilindros de 10 mm de diámetro utilizando un sacabocados manual, cuidando que los bloques fueran obtenidos paralelamente a la orientación longitudinal de las fibras musculares. Los cilindros se cortaron utilizando una cuchilla Warner-Bratzler (apertura triangular de 60°) a una velocidad de 100 mm/min en 30 mm de longitud. El pico de fuerza (expresado en kg-fuerza) para el corte transversal en cada cilindro fue determinado en un analizador de textura TA-XT plus (Stable Micro Systems Ltd., UK).

**Color (CIEL\*a\*b\*).** El espacio de color fue determinado por los parámetros CIEL\*a\*b\*, en donde L\* es luminosidad, a\*(+) es la tendencia al rojo y b\*(+) expresa la tendencia al amarillo. Las mediciones se obtuvieron con un colorímetro (Konica Minolta CR400, USA) según el sistema de referencia CIE (Commission Internationale Pour l'Eclairage) (Alberti *et al.*, 2005) y la metodología de la AMSA (2012). Para esto, el tejido conectivo y la grasa visible fueron removidos de la superficie del músculo y las muestras se expusieron al oxígeno del aire durante 30 min para permitir la oxigenación de la mioglobina (blooming). Tres lecturas se tomaron para cada muestra en diferentes áreas y se obtuvieron los promedios para los valores de L\*, a\*, b\*, hue y croma.

#### **Evaluación Microestructural (Microscopía Electrónica de Barrido).**

Las muestras de carne se cortaron entre 2 y 5 mm de grosor y se fijaron en glutaraldehído al 2.5% en amortiguador de fosfatos Sorensen pH 7.2. Se realizó una postfijación con tetróxido de osmio al 1%. Posteriormente los cortes fueron deshidratados en una serie gradual de etanol (30-100%). Para

microscopía electrónica de barrido (SEM) las muestras se secaron a punto crítico con CO<sub>2</sub> y se montaron en portamuestras de aluminio utilizando cinta de cobre y entonces se recubrieron con una capa de oro (30 nm) para permitir la visualización de la superficie en sección transversal.

Las micrografías de SEM de las muestras fueron obtenidas usando un microscopio electrónico de barrido SEM JSM-6390 (Jeol, Tokyo, Japan).

### **Evaluacion Sensorial**

Las muestras para el análisis sensorial se cocinaron en parrillas eléctricas (West Bend®, USA) a 176 °C durante 4.5 min por cada lado. La temperatura en el centro geométrico de la muestra fue de 72 °C y las muestras se presentaron a los consumidores a 55 °C.

Para la realización de un análisis cualitativo descriptivo (QDA) se semi-entrenó a un panel de 8 personas durante 50 h. El entrenamiento incluyó carne de bovino en todo el abanico de texturas evaluadas objetivamente en esta investigación (*Longissimus dorsi*, *Biceps femoris* y *Gluteus medius*).

Para generar los descriptores de atributos de color, sabor, textura y aroma para el estudio, a los 8 panelistas se les pidió evaluar los atributos de muestras de carne cocinadas que incluyeron los 3 músculos descritos anteriormente. Durante una discusión de tres sesiones de 2 h dirigida por el líder del panel, se escogieron y definieron los atributos de color, sabor, aroma y textura. Todos los panelistas fueron entrenados para que se familiarizaran con la definición de los atributos y sus intensidades, a fin de que los panelistas fueran precisos y consistentes en sus juicios, de acuerdo con las referencias utilizadas.

Para el QDA, los panelistas evaluaron muestras cocinadas de 30 g (un total 4 muestras por músculo: control sin USAI, USAI 35  $\mu\text{m}$ , USAI 50  $\mu\text{m}$  y USAI 70  $\mu\text{m}$ , según Cuadro 1) de acuerdo con los descriptores elegidos: dureza, jugosidad, masticabilidad y claridad. Las muestras se presentaron aleatoriamente a los panelistas permitiendo un descanso de 5 min entre muestras. Durante el descanso se utilizó agua baja en sales para la limpieza del paladar.

### **Análisis Estadísticos**

Los análisis estadísticos de los resultados obtenidos fueron realizados con el paquete estadístico SAS System 9.0. Para los parámetros fisicoquímicos se obtuvo la comparación de medias de Tukey para establecer efectos iguales o diferentes entre tratamientos. En el análisis sensorial se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ). Para la evaluación sensorial se utilizó una escala lineal no estructurada de 15 cm entre anclas de 1.25 cm en cada lado (referencia). También se realizó un análisis de componentes principales y se incluyeron gráficas de medias y radiales como parte del análisis de resultados.

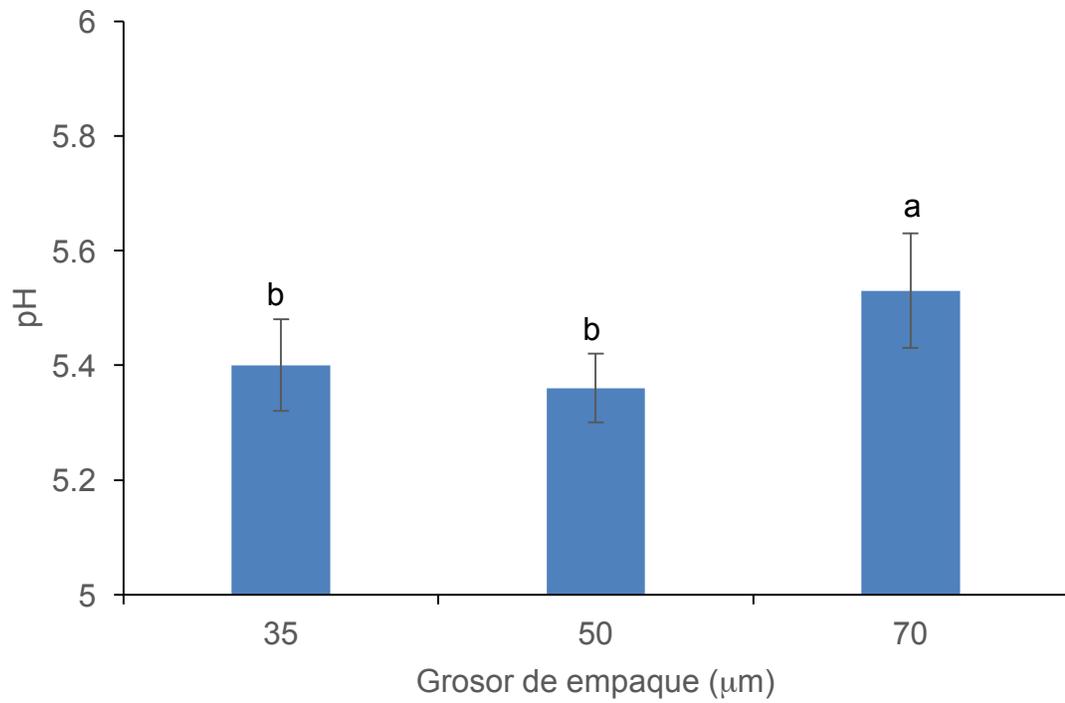
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### pH

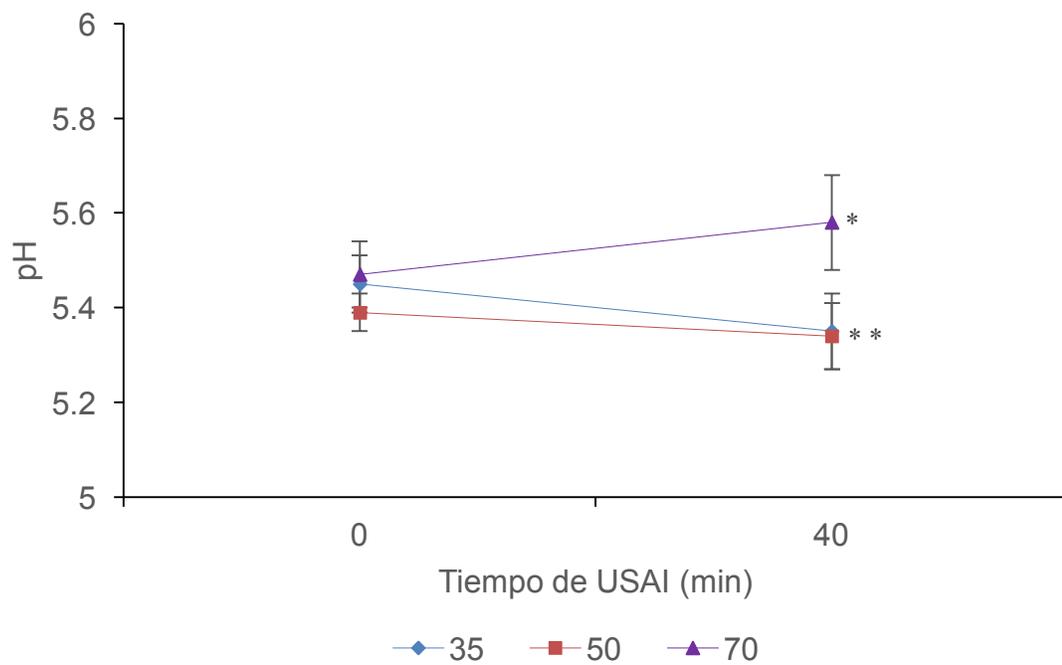
El pH de *Gluteus medius* disminuyó significativamente (desde 5.53 hasta 5.33) conforme el grosor de la bolsa fue menor ( $P < 0.0001$ ). Sin embargo los valores se encuentran dentro del rango normal para carne de res (Gráfica 1). La interacción de grosor de bolsa ( $\mu\text{m}$ ) y tiempo de USAI (min) también resultó significativa ( $P < 0.0001$ ). Observándose una disminución en el pH de *Gluteus medius* en muestras tratadas con USAI y empacadas con bolsas de 35 y 50  $\mu\text{m}$  (Gráfica 2). El pH se incrementó cuando se aplicó el tratamiento de USAI en bolsas de 70  $\mu\text{m}$ . Caraveo *et al.* (2015) encontraron resultados similares, al empacar muestras de músculo *Semitendinosus* y tratarlo con ultrasonido durante 60 min. En el presente estudio se consideró que el cambio en el pH en los músculos empacados en bolsas de 50  $\mu\text{m}$  se debe a que sufrieron más daño en las estructuras celulares y cambios en la conformación de las proteínas, lo cual condujo a grupos ácidos dentro de la matriz (Got *et al.*, 1999).

En cuanto al músculo *Biceps femoris*, el pH se vio afectado significativamente por efecto del empaque ( $P < 0.0001$ ). Grosos de bolsa de 35 y 70  $\mu\text{m}$  presentaron pH de 5.5. Sin embargo, con el uso de bolsas de grosor intermedio (50  $\mu\text{m}$ ) el pH disminuyó hasta 5.36 (Gráfica 3). No obstante, el pH de la carne presentó valores dentro de la normalidad.

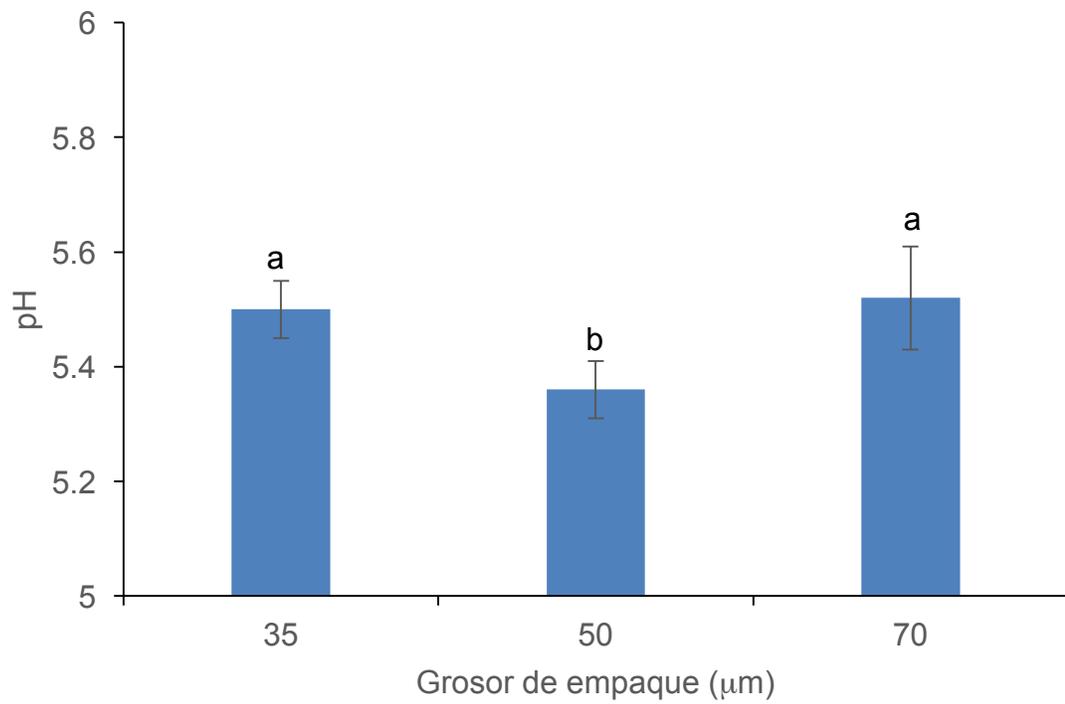
La interacción tiempo de USAI\*grosor de bolsa también resultó significativa ( $P < 0.0001$ ). En este caso el pH de *Biceps femoris* se incrementó significativamente en bolsas de 70  $\mu\text{m}$  tratadas con USAI (Gráfico 4), mientras



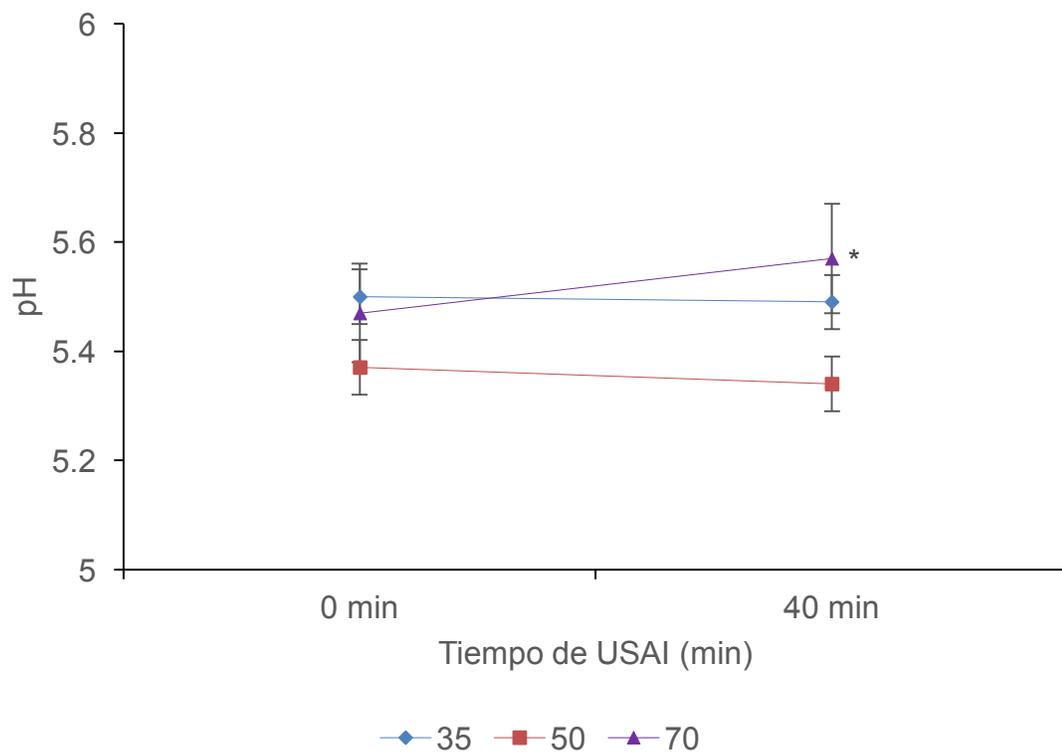
Gráfica 1. pH del músculo *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media ± D.E.).



Gráfica 2. pH del músculo *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media  $\pm$  D.E.).



Gráfica 3. pH del músculo *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media ± D.E.).



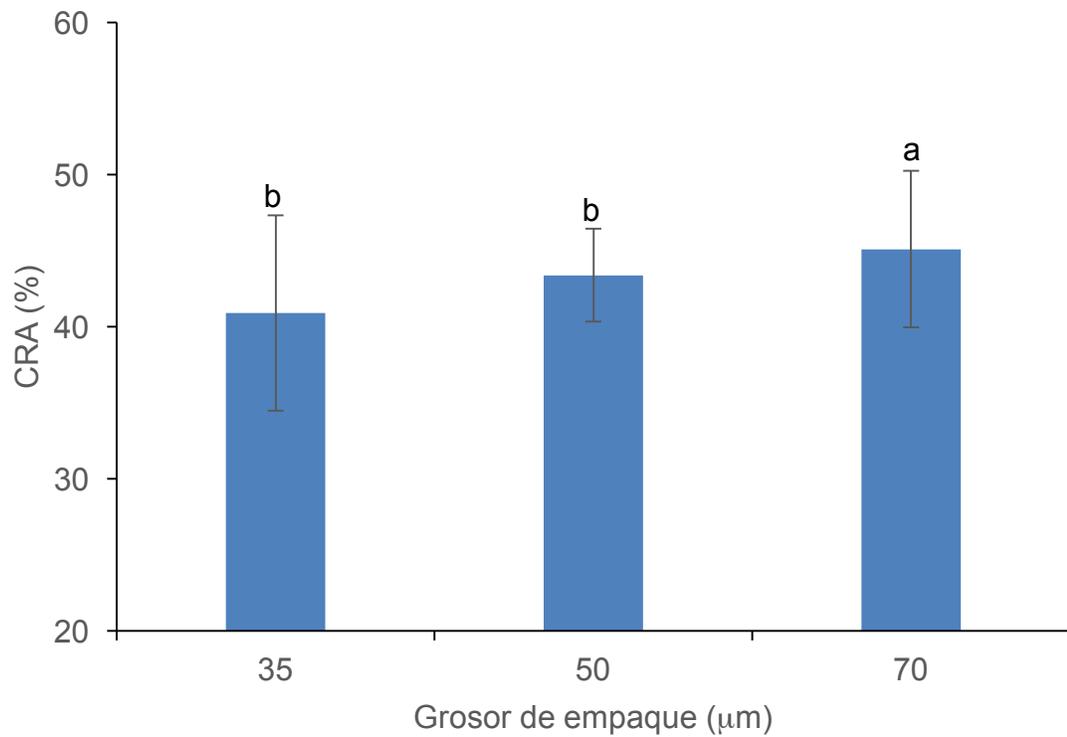
Gráfica 4. pH del músculo *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± D.E.).

que en bolsas de 35 y 50  $\mu\text{m}$  no se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ). Stadnik y Dolatowski (2011; 2008) encontraron que en muestras del músculo *Semimembranosus* empacadas en bolsas de polietileno y tratadas con ultrasonido durante 3 min, los valores de pH fueron más altos en comparación con los controles.

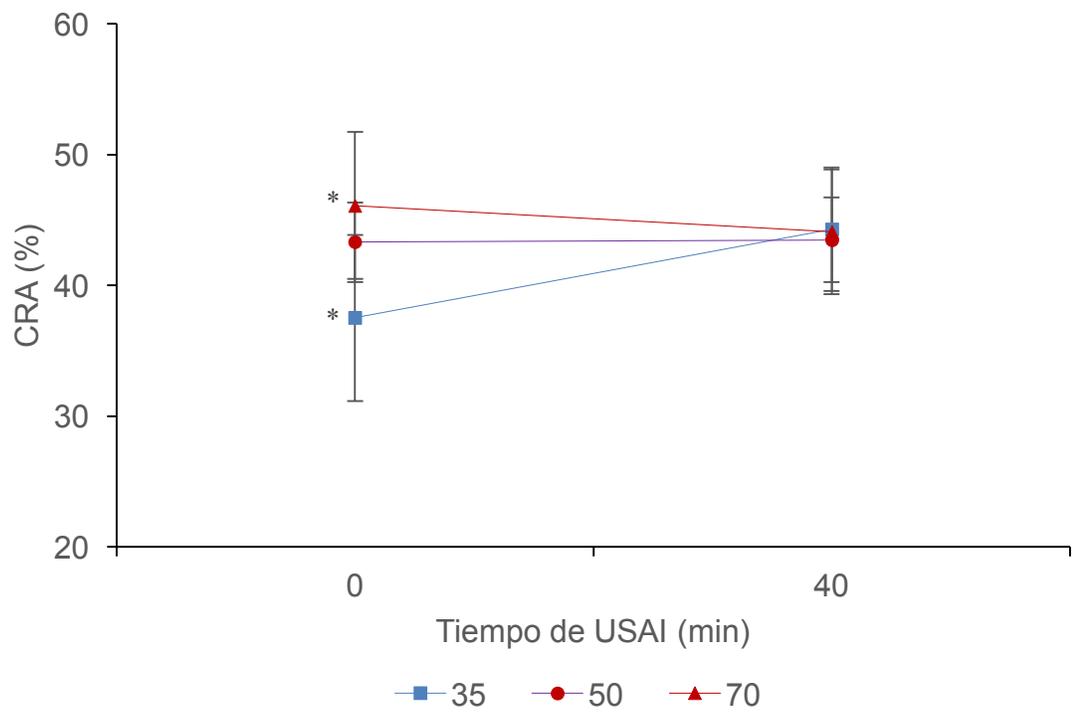
### **Capacidad de Retención de Agua (CRA)**

Para el músculo *Gluteus medius* se encontraron diferencias significativas en la capacidad de retención de agua (CRA) por efecto del grosor de la bolsa de empaque ( $P=0.03$ ). La CRA en *Gluteus medius* disminuyó estadísticamente conforme el grosor de bolsa fue menor, de manera que el empaque con 70  $\mu\text{m}$  presentó una CRA de 45.09%, mientras que la CRA en 50 y 35  $\mu\text{m}$  fue de 43.38 y 40.39%, respectivamente (Gráfica 5). La Gráfica 6 muestra la interacción de grosor de bolsa\*tiempo de USAI ( $P<0.0001$ ); el tratamiento con USAI (40 min) aumentó significativamente la CRA de *Gluteus medius* en bolsas de 35  $\mu\text{m}$ , mientras que en bolsas de 70 la CRA disminuyó con el tratamiento de USAI. Es relevante observar que el tratamiento con USAI tiende a homogenizar la CRA en *Gluteus medius*, mientras que en los controles (0 min de USAI) los valores de CRA son heterogéneos (desde 37.51% para 35 en bolsas de 35  $\mu\text{m}$  hasta 46.09 para 70 en bolsas de 35  $\mu\text{m}$ ).

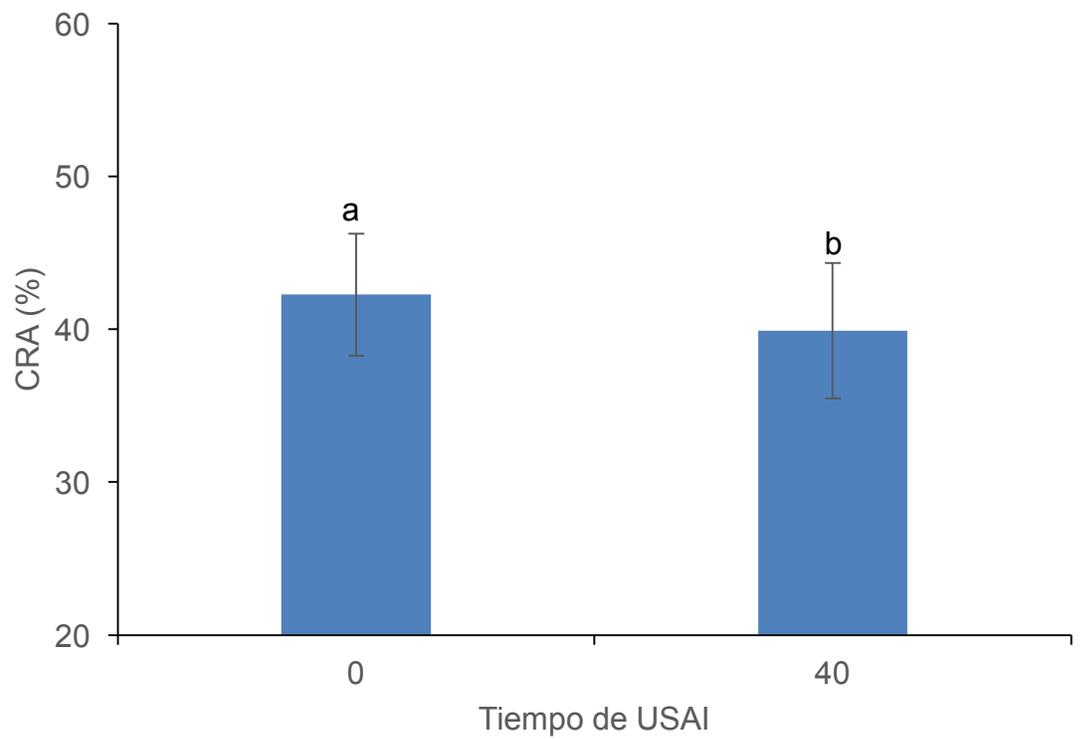
En el caso del músculo *Biceps femoris*, se encontraron diferencias significativas en la CRA por efecto del tiempo de USAI ( $P=0.04$ ). El tratamiento con USAI (40 min) disminuye significativamente la CRA de *Biceps femoris*, desde



Gráfica 5. Capacidad de retención de agua (CRA) del músculo *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media  $\pm$  D.E.).



Gráfica 6. Capacidad de retención de agua (CRA) del músculo *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI ( (media ± D.E.).



Gráfica 7. Capacidad de retención de agua (CRA) del músculo *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del tiempo de USAI (media  $\pm$  D.E.).

42.27% (controles sin USAI) hasta 39.92% (Gráfica 7). No se encontró efecto del grosor de empaque ( $\mu\text{m}$ ) en la CRA de *Biceps femoris* ( $P=0.22$ ). La interacción entre factores tampoco resultó significativa ( $P=0.11$ ).

Los resultados de *Biceps femoris* (40 min US) y *Gluteus medius* (70  $\mu\text{m}$ ) son semejantes a los reportados por Abdalhaji *et al.* (2014), quienes encontraron que en carne fresca de res empacada en bolsas de polietileno y tratada con ultrasonido durante 10 min, los valores de CRA fueron más bajos que los controles. Resultados similares fueron publicados por Chang *et al.* (2015), quienes trabajaron con muestras de *Semitendinosus* empacadas al vacío y tratadas con diferentes tiempos de exposición a ultrasonido (10, 20, 30, 40, 50 y 60 min); estos investigadores reportaron que, a excepción de las muestras sonicadas durante 10 min, los valores de CRA fueron más bajos en muestras ultrasonicadas que los controles. Estos resultados se podrían atribuir a que en el empaque de bajo grosor hubo mayor ruptura de la estructura celular y mayor liberación de agua por efecto del ultrasonido (Chang *et al.*, 2015). Así también, se atribuye al menor contenido de tejido conectivo en BF (2.36 mg/g) en comparación con GM (4.7 mg/g) (Jones *et al.*, 2004), pues al haber menos tejido conectivo la estructura celular recibió un mayor daño por efecto del USAI.

### **Esfuerzo de corte**

El esfuerzo de corte de *Gluteus medius* disminuyó significativamente conforme disminuyó el grosor de bolsa ( $\mu\text{m}$ ) ( $P<0.0001$ ) (Gráfica 8). Las bolsas de 35 y 50  $\mu\text{m}$  presentaron menor esfuerzo de corte (2.79 y 2.64 kg, respectivamente) en comparación al tratamiento de 70  $\mu\text{m}$  (3.17 kg). La Gráfica

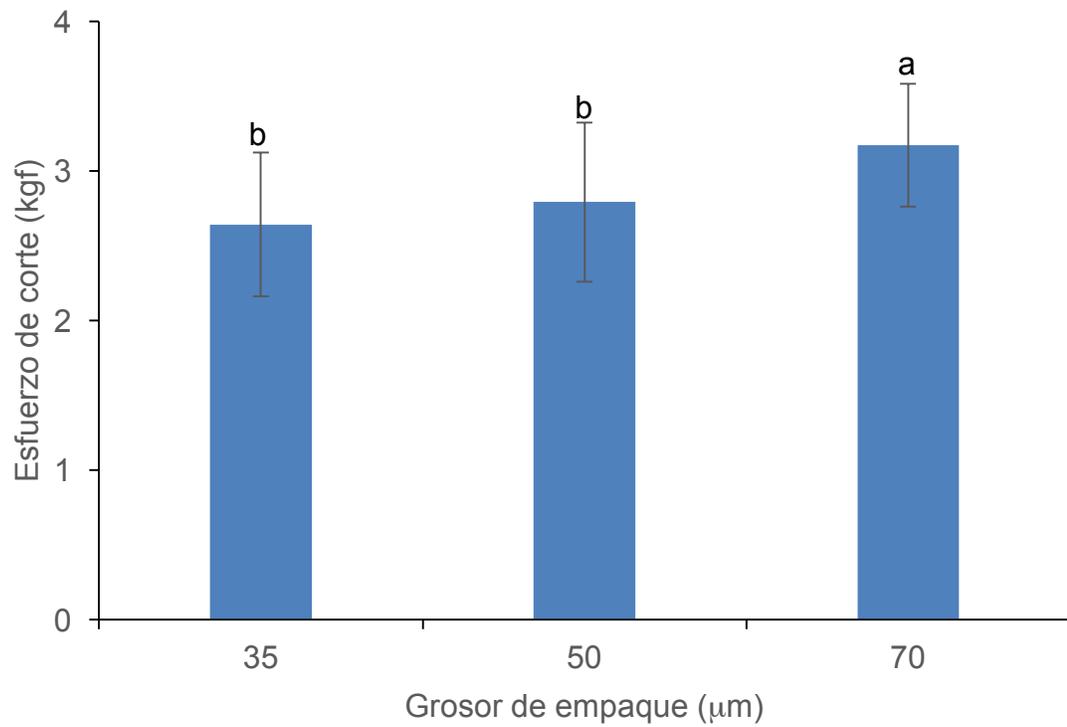
9 ilustra la interacción de grosor de bolsa ( $\mu\text{m}$ )\*tiempo de USAI (min) ( $P < 0.0001$ ), corroborando la disminución significativa del esfuerzo de corte de *Gluteus medius* en bolsas de 35 y 50  $\mu\text{m}$  tratadas con USAI y el aumento del esfuerzo de corte en bolsas de 70  $\mu\text{m}$ . Resultados semejantes a los nuestros fueron reportados por Chang *et al.* (2015), quienes reportaron que muestras sonicadas durante 30 min tuvieron valores más bajos de esfuerzo de corte con relación a los controles. Por otro lado, Wang *et al.* (2018) reportaron que en muestras de *Semitendinosus* tratadas con ultrasonido durante 40 min, disminuyeron los valores de esfuerzo de corte. En concordancia con este último estudio, Jayasooriya *et al.* (2007) también encontraron que el tratamiento de *Semitendinosus* con ultrasonido durante 4 min disminuyó significativamente el esfuerzo de corte Warner-Bratzler en comparación con muestras no tratadas.

En el caso del músculo *Biceps femoris*, no se encontraron diferencias significativas en el esfuerzo de corte por efecto de grosor de bolsa ( $P = 0.21$ ) ni tiempo de USAI ( $P = 0.37$ ). La interacción entre factores tampoco resultó significativa ( $P = 0.23$ ). Sin embargo, en bolsas de bajo grosor (35  $\mu\text{m}$ ) se observa una tendencia de incremento en el esfuerzo de corte de *Biceps femoris* en muestras tratadas con USAI, mientras que en bolsas de 50 y 70  $\mu\text{m}$  no se observan cambios en el esfuerzo de corte durante el tratamiento con USAI.

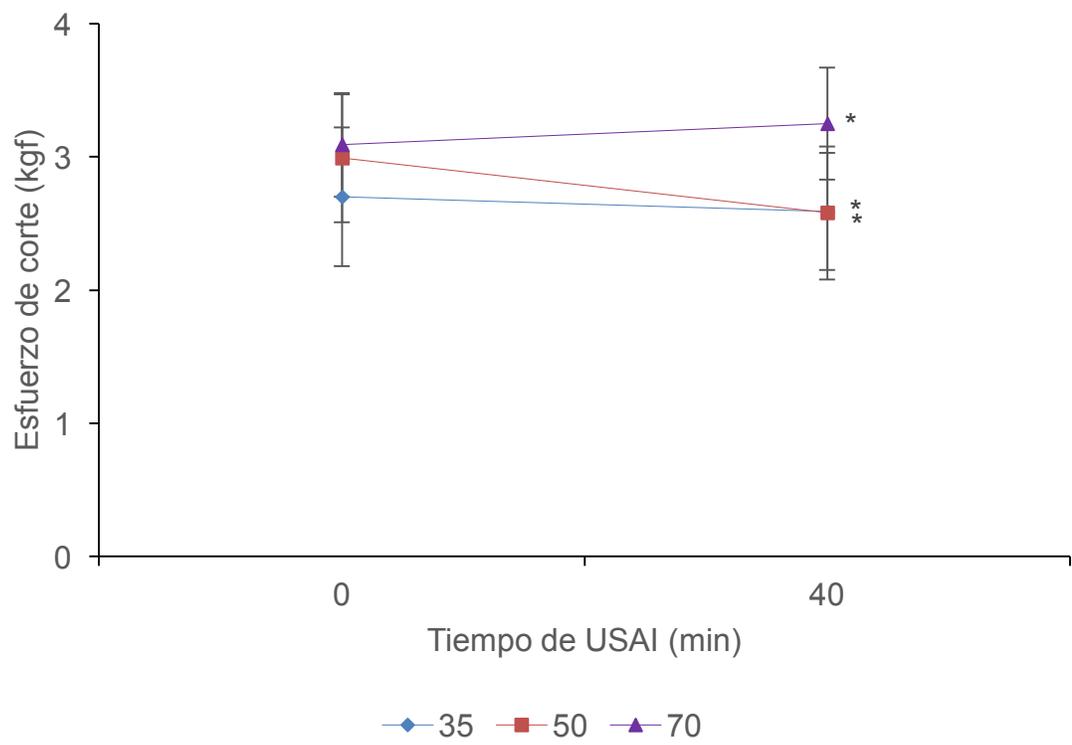
Algunos investigadores han reportado resultados semejantes a los del presente estudio, no encontrando efecto significativo en el esfuerzo al corte después del tratamiento con ultrasonido. A este respecto, Sikes *et al.* (2014) utilizó ultrasonido de alta frecuencia (600 kHz y 48 kPa-65 kPa de presión

acústica) durante 10 min en filetes de lomo de res después del rigor; estos investigadores no encontraron efectos significativos en la textura (valor de fuerza máxima). Por otro lado, Abdalhai *et al.* (2014) aplicaron ultrasonido de baja intensidad ( $1.55 \text{ Wcm}^{-2}$ ) durante 8.16 o 24 min en carne de vacuno empacada al vacío, no encontrando efecto significativo sobre las propiedades de textura. Finalmente, Lyng *et al.* (1997) encontraron que bajo las condiciones usadas de ultrasonido ( $0.29 \text{ Wcm}^{-2}$ ) no observaron diferencias significativas en la dureza del músculo *Biceps femoris*. Posiblemente los efectos de ablandamiento del USAI no se vieron reflejados en el músculo *Biceps femoris* porque tiene diferentes orientaciones de las fibras musculares. A este respecto, en la región de separación del *Sirloin* de la cabeza larga del *Biceps femoris* la orientación de las fibras es más horizontal, y la inclinación de las fibras aumenta hacia el eje horizontal del músculo, mientras que en la cabeza isquiática la orientación de las fibras es paralela al eje largo del músculo (Senaratne *et al.*, 2010).

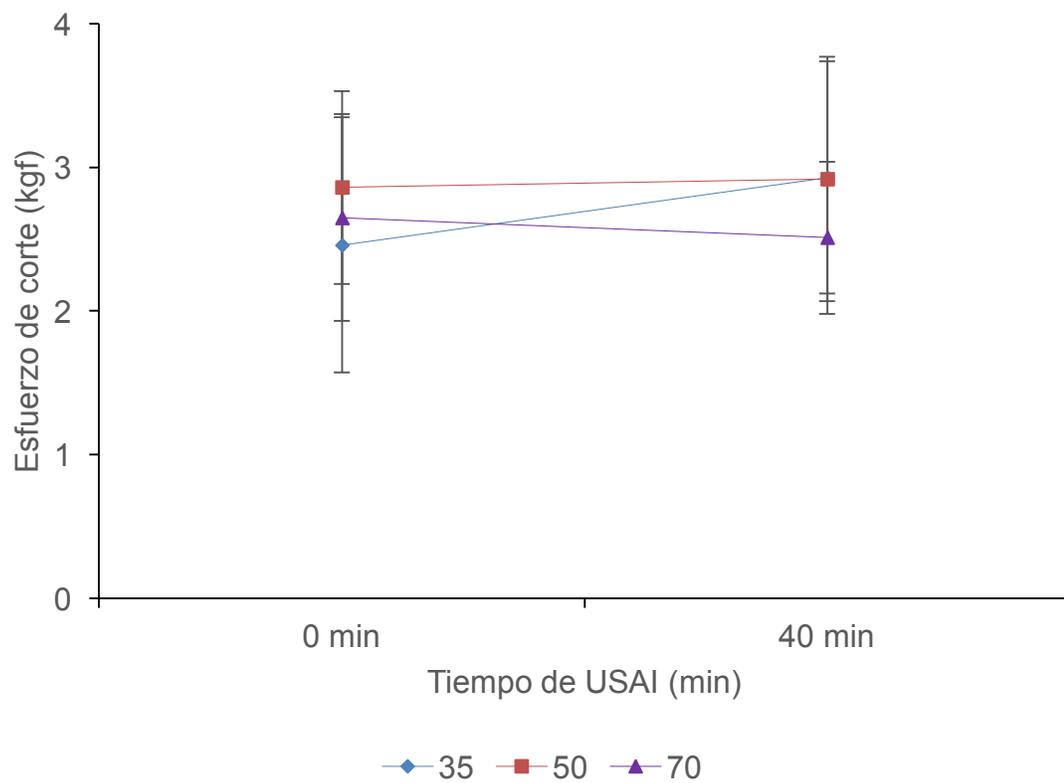
La variación de los valores de esfuerzo de corte entre ambos músculos (*Gluteus medius*, GM, y *Biceps femoris*, BF) se debe a la cantidad de colágeno, pues en GM es de 8.13 mg/g y en BF se reportan 9.6 mg/g (Jones *et al.*, 2004). Es por esto que se encontró efecto significativo en la disminución de la dureza en GM pero no en BF. La suavidad de la carne es afectada por su composición, organización estructural miofibrilar y por la integridad del músculo (Sikes *et al.*, 2014). De la misma manera, los efectos del ultrasonido en la suavidad de la carne dependen de diversos factores como la frecuencia, intensidad, tiempo y tipo de muestras (Chang *et al.*, 2015). Los diferentes resultados obtenidos por varios investigadores no son comparables debido a las diferencias en las muestras,



Gráfica 8. Esfuerzo de corte (kg) del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque (media  $\pm$  D.E.).



Gráfica 9. Esfuerzo de corte (kg) del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media  $\pm$  D.E.).



Gráfica 10. Esfuerzo de corte (kg) del m. *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI ( (media  $\pm$  D.E.).

como lo es el tipo de músculo, la edad del animal, el tiempo de maduración y el tratamiento del ultrasonido (frecuencia, intensidad y duración) (Wang *et al.*, 2018).

### **Color**

Los parámetros de color  $L^*a^*b^*$  en *Gluteus medius* (Cuadro 8) no presentaron cambios significativos por efecto del grosor de empaque ( $P=0.88$ ) ni tiempo de USAI ( $P=0.4$ ). En el caso del músculo *Biceps femoris* (Cuadro 9), el grosor de empaque ( $P=0.48$ ) y el tiempo de USAI ( $P=0.39$ ) tampoco tuvieron efecto significativos en los valores  $L^*a^*b^*$ . La interacción de ambos factores en los músculos no resultó significativa y los valores de hue y croma tampoco se modificaron por efecto del tiempo de USAI ni grosor de bolsa ( $P>0.05$ ).

El color en la carne es un factor primordial en la calidad porque es la primera característica sensorial que los consumidores observan en cuanto apariencia (O`Sullivan *et al.*, 2003a); el color rojo brillante se relaciona con la frescura y por lo tanto con la aceptación del producto (O`Sullivan *et al.*, 2003b). Resultados semejantes a los del presente estudio fueron obtenidos por Peña-González *et al.* (2017), quienes no encontraron diferencias sensoriales en el color de *Longissimus* dorsi bovino cocinado y ultrasonificado en un sistema de baño (40 kHz, 11 Wcm<sup>-2</sup>, 60 min) almacenado durante 0, 7 y 14 días de almacenamiento a 4 °C. En cuanto a las mediciones objetivas del color en carne ultrasonificada los resultados son controversiales; Stadnik y Dolatowski *et al.* (2011) y Pohlman *et al.* (1997) reportaron un incremento en la luminosidad, disminución del color rojo y aumento en el color amarillo-naranja (mayor ángulo hue) en carne tratada con ultrasonido (22 Wcm<sup>-2</sup>). Los cambios en el color de la carne se debieron a que el

Cuadro 8. CIE L\*a\*b\* del músculo *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media  $\pm$  desviación estándar).

Factor		CIE L*a*b*			
Grosor	L*	a*	b*	Hue	Croma
(μm)					
35	37.61 $\pm$ 3.1 <sup>a</sup>	14.48 $\pm$ 1.9 <sup>ab</sup>	10.07 $\pm$ 1.84 <sup>a</sup>	34.81 $\pm$ 6.91 <sup>a</sup>	17.63 $\pm$ 1.78 <sup>a</sup>
50	36.56 $\pm$ 6.25 <sup>a</sup>	13.13 $\pm$ 1.36 <sup>b</sup>	10.57 $\pm$ 1.63 <sup>a</sup>	38.83 $\pm$ 2.33 <sup>a</sup>	16.85 $\pm$ 1.38 <sup>a</sup>
70	36.52 $\pm$ 2.03 <sup>a</sup>	15.35 $\pm$ 1.36 <sup>a</sup>	10.17 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	33.52 $\pm$ 4.36 <sup>a</sup>	18.41 $\pm$ 1.32 <sup>a</sup>
USAI					
(min)					
0	36.02 $\pm$ 5.13 <sup>a</sup>	14.77 $\pm$ 2.32 <sup>a</sup>	10.4 $\pm$ 1.97 <sup>a</sup>	35.15 $\pm$ 6.16 <sup>a</sup>	18.06 $\pm$ 2.24 <sup>a</sup>
40	37.77 $\pm$ 2.34 <sup>a</sup>	13.88 $\pm$ .77 <sup>a</sup>	10.14 $\pm$ 1.18 <sup>a</sup>	36.14 $\pm$ 4.19 <sup>a</sup>	17.18 $\pm$ .0.7 <sup>a</sup>

Cuadro 9. CIE L\*a\*b\* del músculo *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (media ± desviación estándar).

Factor	CIE L*a*b*				
	L*	a*	b*	Hue	Croma
Grosor (µm)					
35	35.11±1.74 <sup>a</sup>	21.46±5.3 <sup>a</sup>	10.17±1.35 <sup>a</sup>	25.35±4.04 <sup>a</sup>	23.74±5.14 <sup>a</sup>
50	35.26±1.11 <sup>a</sup>	17.47±2.47 <sup>a</sup>	8.91±2.17 <sup>a</sup>	27.02±3.24 <sup>a</sup>	19.61±.11 <sup>a</sup>
70	34.38±.42 <sup>a</sup>	18.99±1.08 <sup>a</sup>	8.4±1.95 <sup>a</sup>	23.86±3.88 <sup>a</sup>	20.76±1.73 <sup>a</sup>
USAI (min)					
0	34.64±1.52 <sup>a</sup>	19.33±5.11 <sup>a</sup>	8.7±2.15 <sup>a</sup>	24.23±4.08 <sup>a</sup>	21.19±5.31 <sup>a</sup>
40	35.15±0.78 <sup>a</sup>	19.27±1.41 <sup>a</sup>	9.61±1.62 <sup>a</sup>	26.5±3.37 <sup>a</sup>	21.53±1.76 <sup>a</sup>

ultrasonido limita la formación de oximioglobina y retrasa la formación de metamioglobina (Stadnik y Dolatowski, 2011). Sin embargo, otros investigadores no han encontrado ningún cambio en los parámetros de color por efecto del ultrasonido, tal es el caso de Alves *et al.* (2018), quienes no encontraron cambios en el color de carne de bovino cuando ultrasonicaron en sistema de baño (45 kHz, 500 W, 1.8 Wcm<sup>-2</sup>) o con sonda (20 kHz, 750 W, 26.5 Wcm<sup>-2</sup>) a 0, 60, 120 y 240 s.

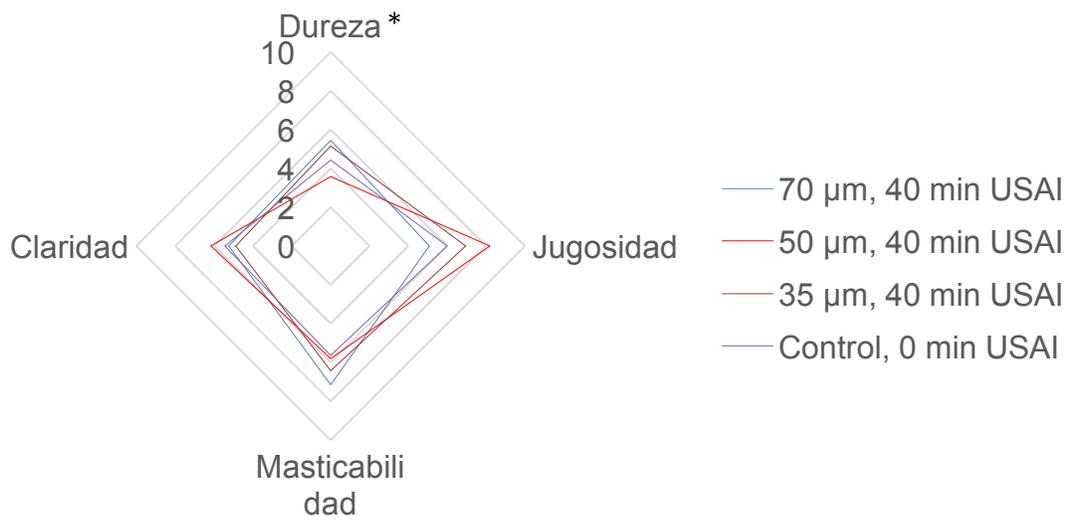
### **Análisis Descriptivo Cuantitativo**

Para el músculo *Gluteus medius*, los panelistas encontraron diferencias significativas en la dureza del músculo (Gráfica 11) por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI (P = 0.03). Las muestras tratadas con 40 min de USAI y empacadas en bolsas de 50 µm fueron percibidas más suaves, mientras que aquellas tratadas con 40 min de USAI y empacadas en bolsas de 35 y 70 µm se percibieron más duras que los controles. A pesar de no resultar significativos los demás atributos evaluados, la tendencia en la Gráfica 11 indica mayor percepción de jugosidad en las muestras tratadas con USAI por 40 min y empacadas en bolsas de 50 µm (es decir, las más suaves). Mientras que las muestras evaluadas como más duras (empaque de 70 µm y tratadas con USAI durante 40 min) resultaron menos jugosas para los panelistas. Esta percepción de suavidad en las muestras tratadas con 40 min de USAI empacadas en bolsas de 50 µm, coinciden con los resultados en la prueba de esfuerzo al corte. Sin embargo la tendencia en la percepción de jugosidad no coincide con los resultados de CRA,

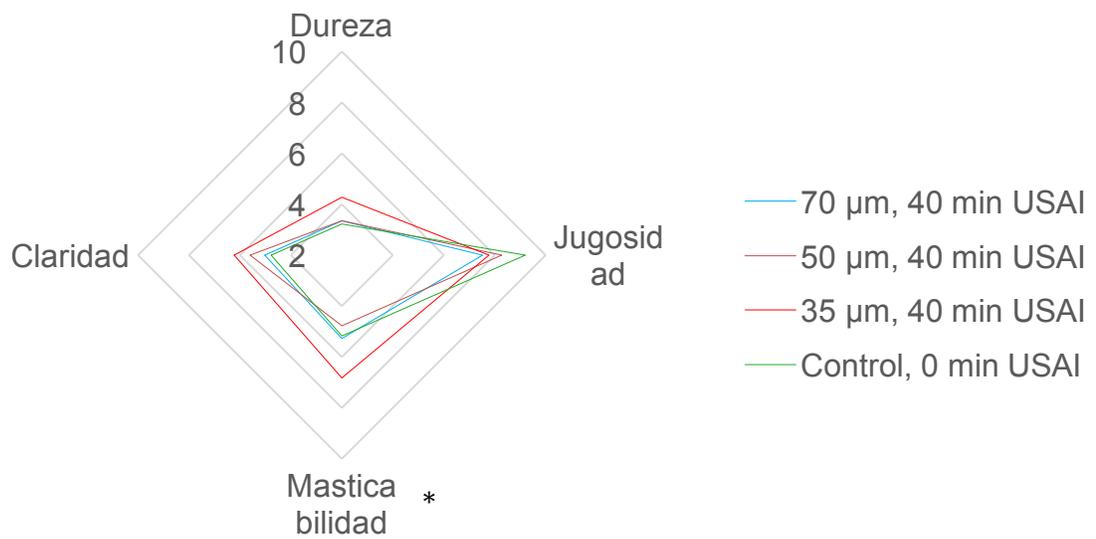
ya que las muestras con mayor CRA son las tratadas por 40 min con USAI empacadas con bolsas de 70  $\mu\text{m}$ .

Respecto al músculo *Biceps femoris*, los resultados mostraron diferencias estadísticas únicamente para la masticabilidad de las muestras ( $P = 0.01$ ). En este caso, las muestras tratadas con USAI durante 40 min y empacadas en bolsas de bajo grosor (35  $\mu\text{m}$ ) presentaron mayor masticabilidad (mayor número de mordidas para tragar el alimento), y por consiguiente, la tendencia en el Gráfico 12 indica mayor dureza y menor jugosidad en estas muestras. Estos resultados de las muestras tratadas con 40 min con USAI empacadas con bolsas de 35  $\mu\text{m}$  siendo las más masticables coincide con el aumento en el esfuerzo al corte al ser tratadas con USAI. Al igual que con *Gluteus medius*, las muestras tratadas con USAI durante 40 min y empacadas en bolsas de 50  $\mu\text{m}$  resultaron en menor masticabilidad y dureza; sin embargo, no estadísticamente diferente de los controles y de las muestras empacadas en bolsas de 70  $\mu\text{m}$  tratadas con USAI durante 40 min.

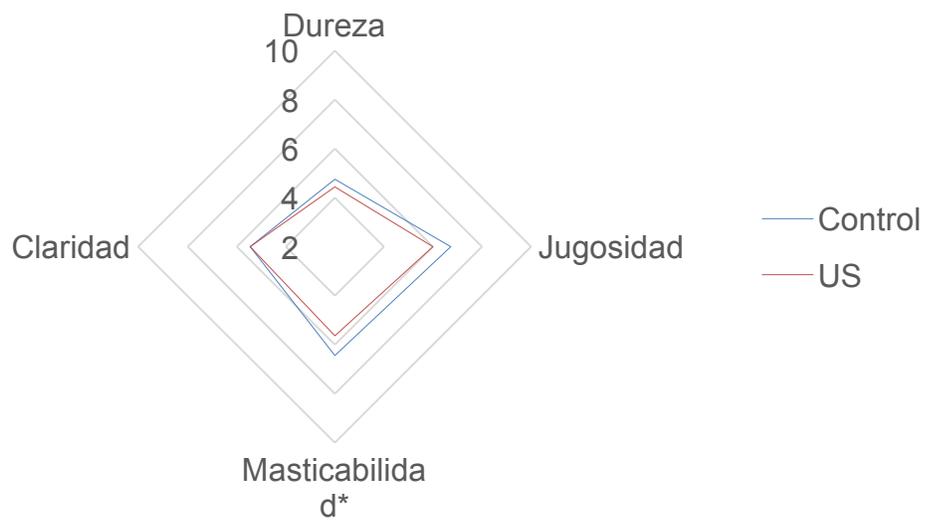
Respecto al efecto del factor tiempo de USAI en *Gluteus medius* (Gráfica 13), se encontraron diferencias estadísticas para la masticabilidad del músculo ( $P = 0.0002$ ). Las muestras tratadas con USAI tuvieron menor masticabilidad que los controles, lo cual es positivo porque requirieron de menor número de mordidas antes de deglutirlas. Por lo tanto, el USAI es una tecnología promisoría para disminuir la masticabilidad en el músculo. En cuanto al músculo *Biceps femoris* (Gráfica 14), se encontraron diferencias estadísticas en la jugosidad ( $P < 0.0001$ ) y claridad ( $P = 0.001$ ) del músculo. En este caso, los controles presentaron mayor



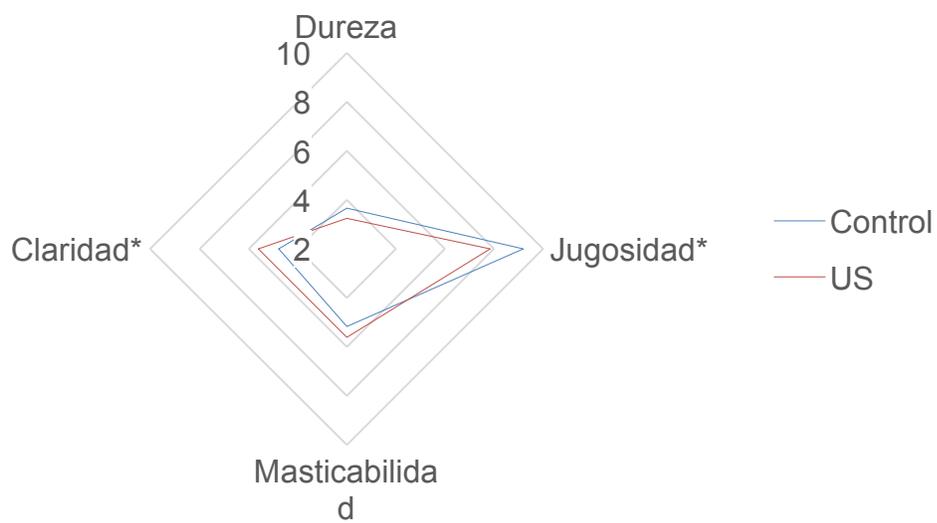
Gráfica 11. Medias de los descriptores del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI.



Gráfica 12. Medias de los descriptores del m. *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI.



Gráfica 13. Medias de los descriptores del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI ; control (0 min) y US (40 min).



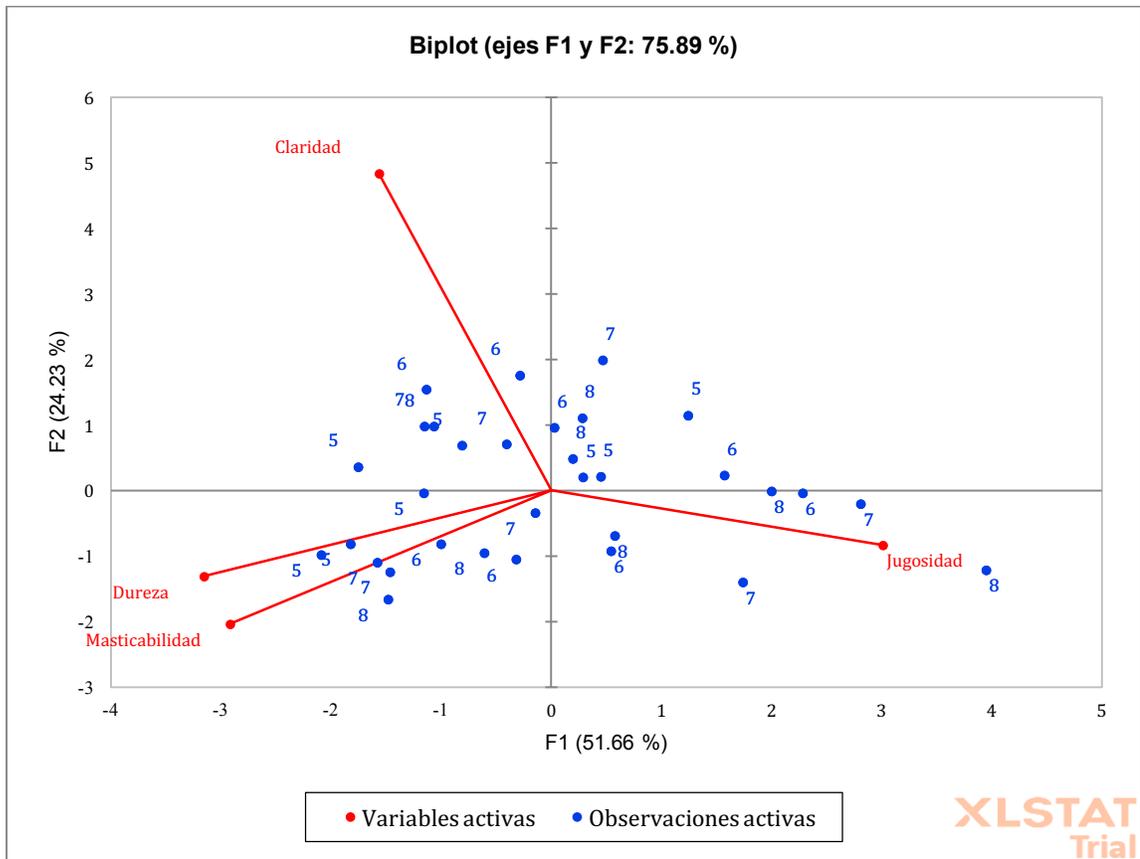
Gráfica 14. Medias de los descriptores del m. *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI; control (0 min) y US (40 min).

jugosidad y fueron percibidos con menor claridad (más oscuros) que las muestras tratadas con USAI. Aquí el USAI puede ser recomendado como tecnología asistida para aumentar la luminosidad del músculo, haciéndolo más atractivo visualmente durante su consumo.

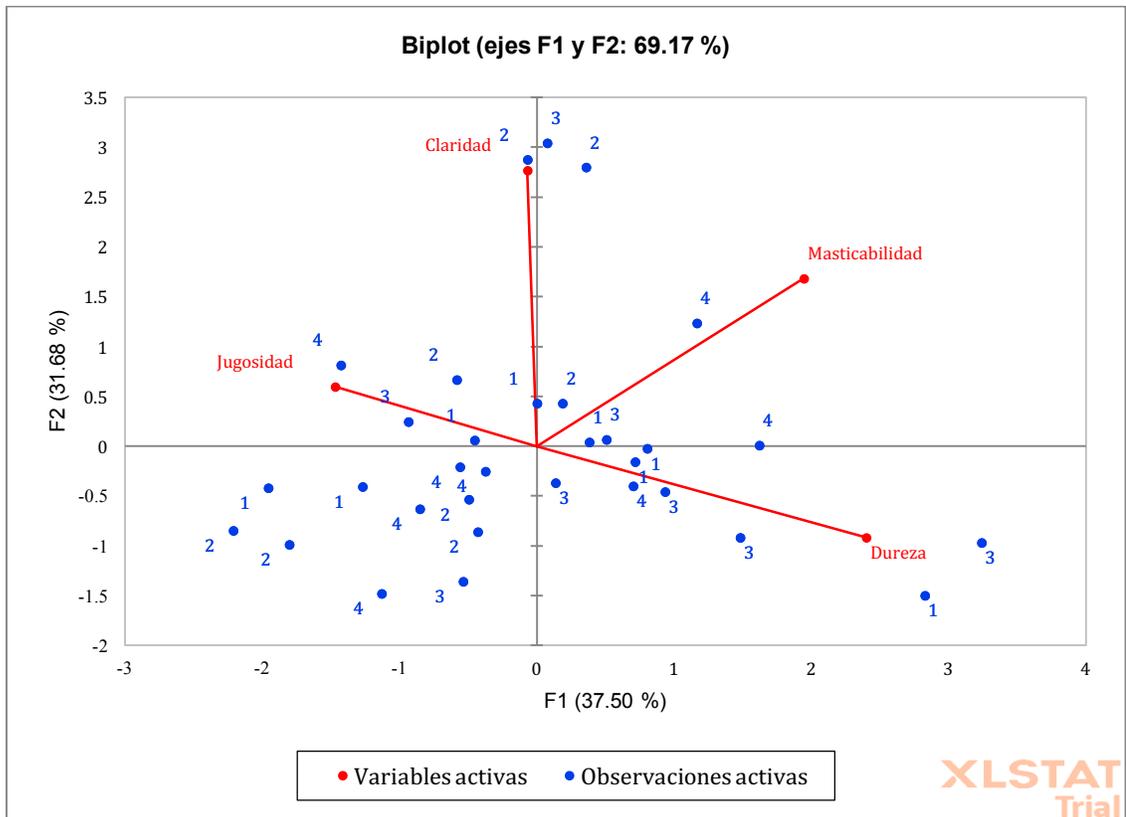
El análisis de componentes principales muestra que los componentes 1 y 2 explican el 75.9 y 69.2% de la variación en las muestras de los músculos *Gluteus medius* (GM) y *Biceps femoris* (BF), respectivamente. Los números en los cuadrantes indican los tratamientos. En general, para el músculo GM las muestras del cuadrante 1 destacan por ser más claras, mientras que en el cuadrante 2 se encuentran las menos duras y menos masticables, en el cuadrante 3 las más jugosas y por último en el cuadrante 4 las más duras y más masticables (Gráfica 15); la distribución de tratamientos en los cuadrantes es muy heterogénea, no habiendo un tratamiento que sea definido específicamente en cuanto a determinado atributo. Para el músculo BF, en el cuadrante 1 se encuentran las muestras más jugosas y claras, en el cuadrante 2 las más masticables, en el cuadrante 3 las más duras y en el cuadrante 4 las menos masticables, menos duras y jugosas (Gráfica 16). A diferencia de *Gluteus medius*, en *Biceps femoris* se encontró la formación de una nube de tratamientos en el cuadrante 4, por lo que se puede concluir que los tratamientos 2 y 4 (70  $\mu\text{m}$  40 min USAI y 35  $\mu\text{m}$  40 min USAI) fueron menos masticables, menos duros y menos jugosos.

### **Microestructura**

La textura de la carne está directamente relacionada con la estructura



Gráfica 15. Análisis de componentes principales del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI y grosor de empaque. Muestras: 5 (Control sin USAI), 6 (70  $\mu\text{m}$  40 min USAI), 7 (50  $\mu\text{m}$  40 min USAI) y 8 (35  $\mu\text{m}$  40 min USAI).

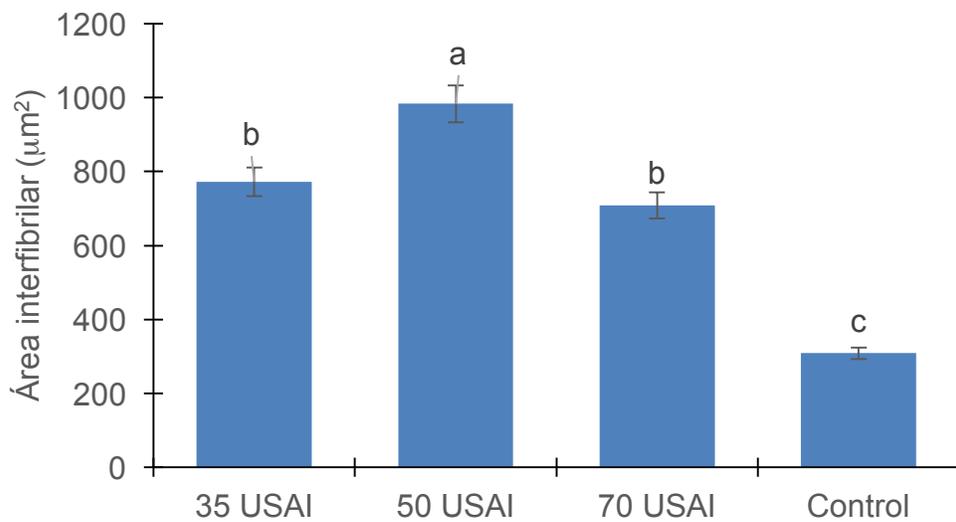


Gráfica 16. Análisis de componentes principales del m. *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del factor tiempo de USAI y grosor de empaque. Muestras: 1 (Control sin USAI), 2 (70  $\mu$ m 40 min USAI), 3 (50  $\mu$ m 40 min USAI) y 4 (35  $\mu$ m 40 min USAI).

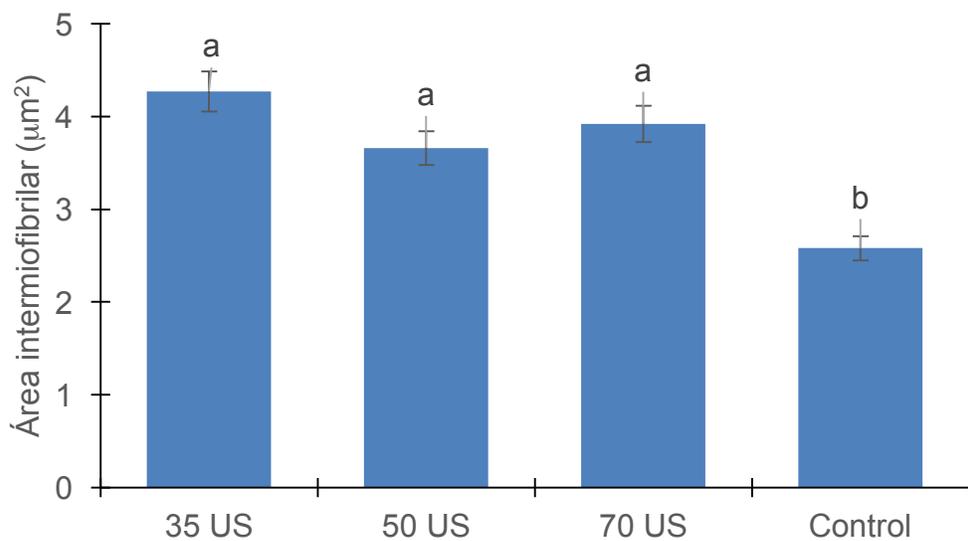
miofibrilar y el tejido conectivo y, en menor medida, por la cantidad de grasa intramuscular. El US es una tecnología que puede causar la ruptura física de las estructuras del músculo debido a los mecanismos de la cavitación (Jayasooriya et al. 2007). Es por eso que diversos estudios han tratado de mejorar la suavidad de la carne por efecto del US.

Los resultados mostraron diferencia significativa en los espacios interfibrilares del músculo *Gluteus medius* (Gráfica 17); en este caso, los espacios interfibrilares se incrementaron significativamente en las muestras en bolsas de 50  $\mu\text{m}$  y 40 min USAI (983  $\mu\text{m}^2$  en un área de 10,000  $\mu\text{m}^2$ ), 35  $\mu\text{m}$  y 40 min USAI (772  $\mu\text{m}^2$ ) y 70  $\mu\text{m}$  y 40 min USAI (709  $\mu\text{m}^2$ ), mientras que en los controles las áreas de espacios interfibrilares fueron de únicamente 308  $\mu\text{m}^2$ .

Estos resultados se observan en las micrografías de la Figura 2, en donde se ilustra que la separación entre fibras se incrementó significativamente en los tratamientos con USAI, mientras que en los controles la separación es apenas visible. Un acercamiento mayor mediante el microscopio electrónico de barrido (a nivel miofibrilar) permitió observar y cuantificar los espacios entre miofibrillas en *Gluteus medius*. Los resultados mostraron un aumento significativo en los espacios intermiofibrilares del músculo en muestras tratadas con USAI, desde 2.58  $\mu\text{m}^2$  (en el control sin USAI) hasta 3.66 a 4.27  $\mu\text{m}^2$  (en los tratamientos con USAI) en un área de 25  $\mu\text{m}^2$  (Gráfica 18); en la Figura 2 se corrobora la separación significativa de las miofibrillas en estas muestras. Los resultados obtenidos en esta prueba en cuanto al aumento de los espacios interfibrilares para las muestras tratadas durante 40 min con USAI y empacadas en bolsas de



Gráfica 17. Áreas interfibrilares del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).



Gráfica 18. Áreas intermiofibrilares del m. *Gluteus medius* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).

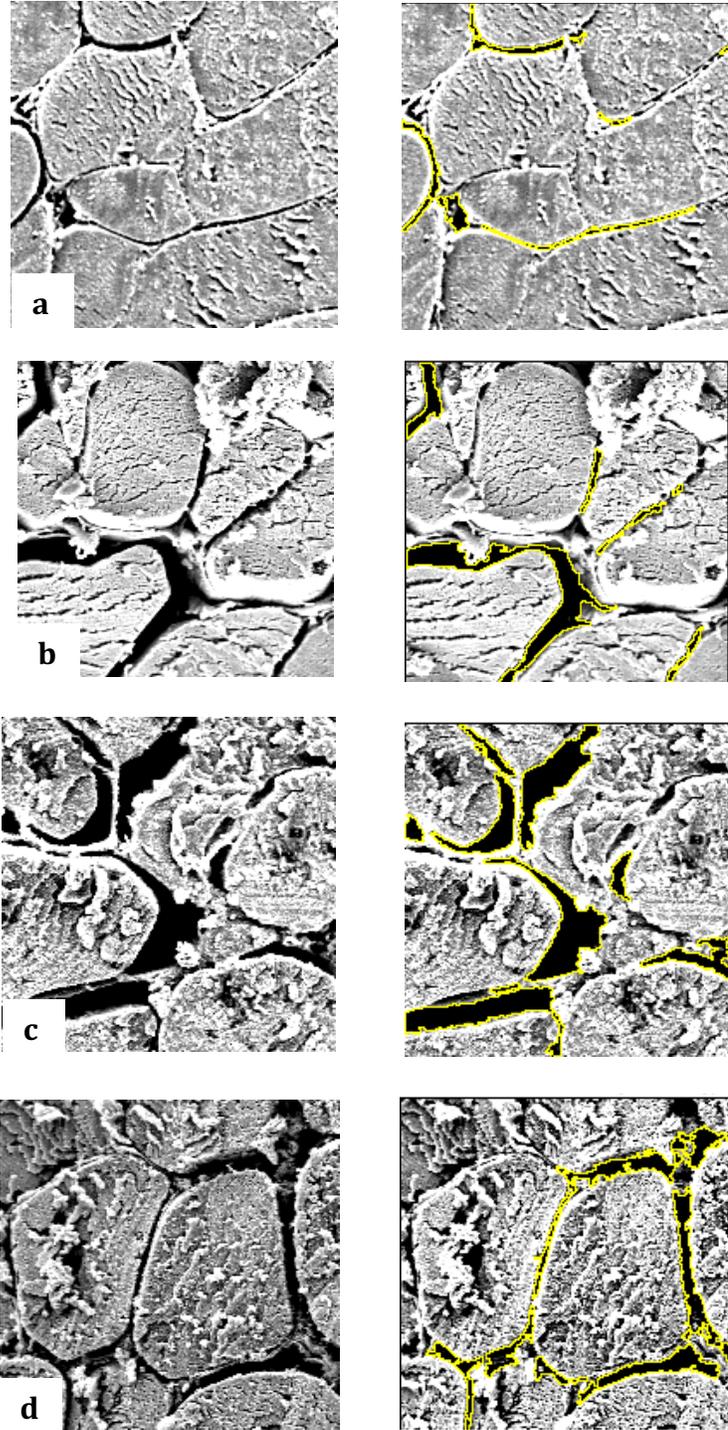


Figura 2. Micrografías electrónicas de barrido de las áreas interfibrilares del m. *Gluteus medius*. Magnificación 200x; a) Control sin USAI, b) 70  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas interfibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ).

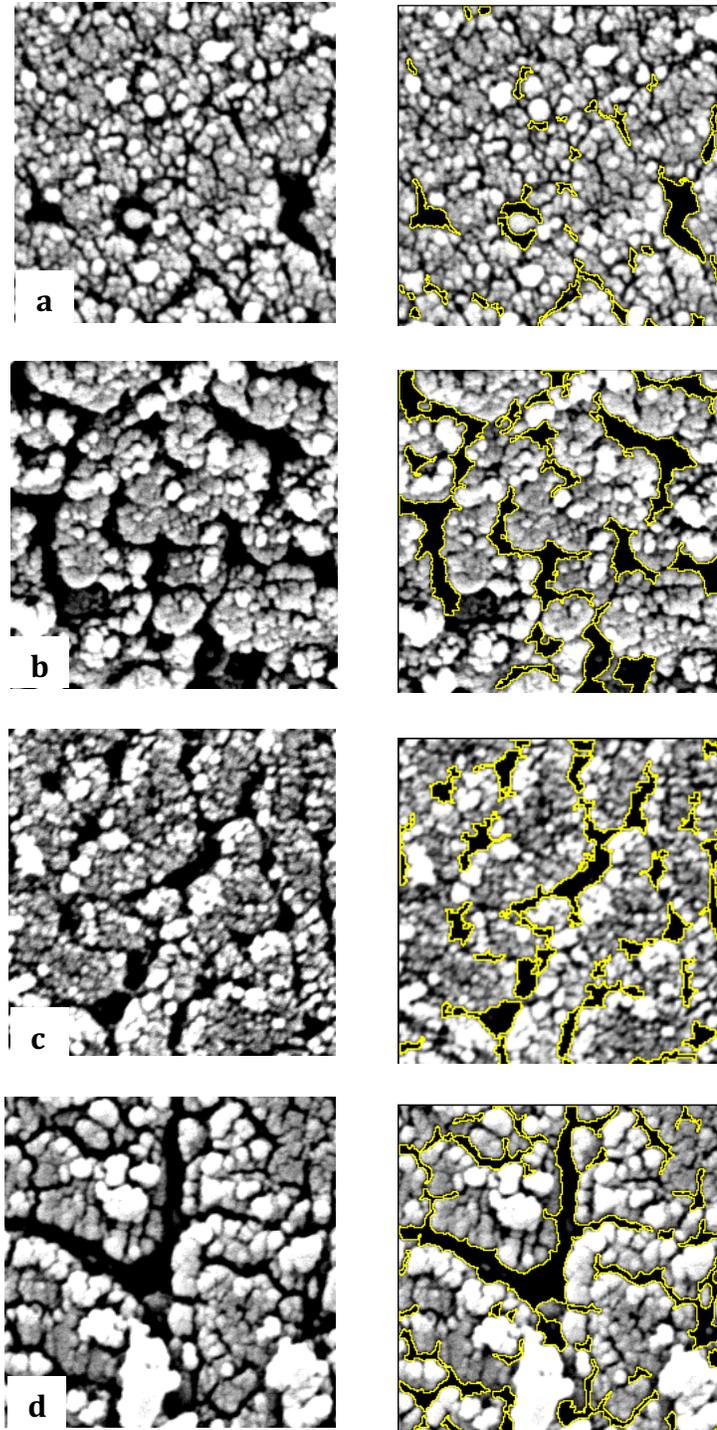
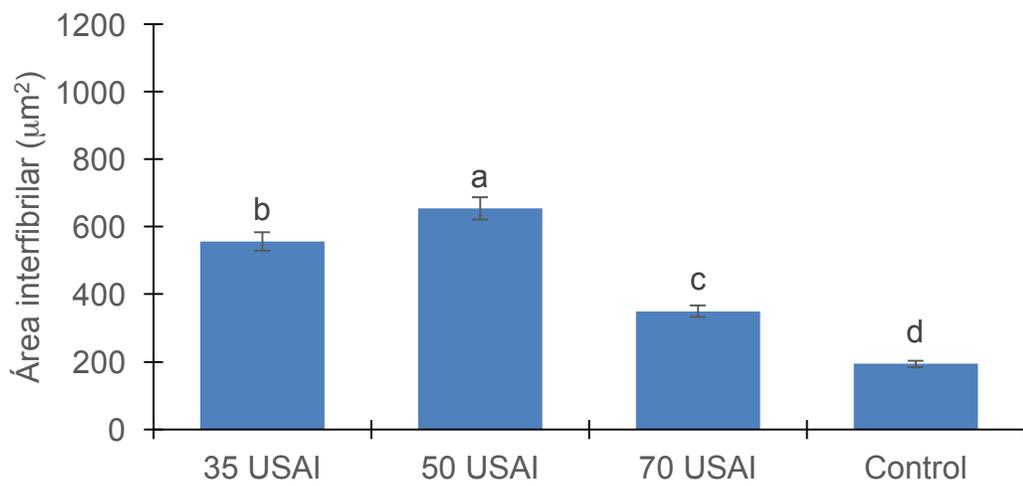


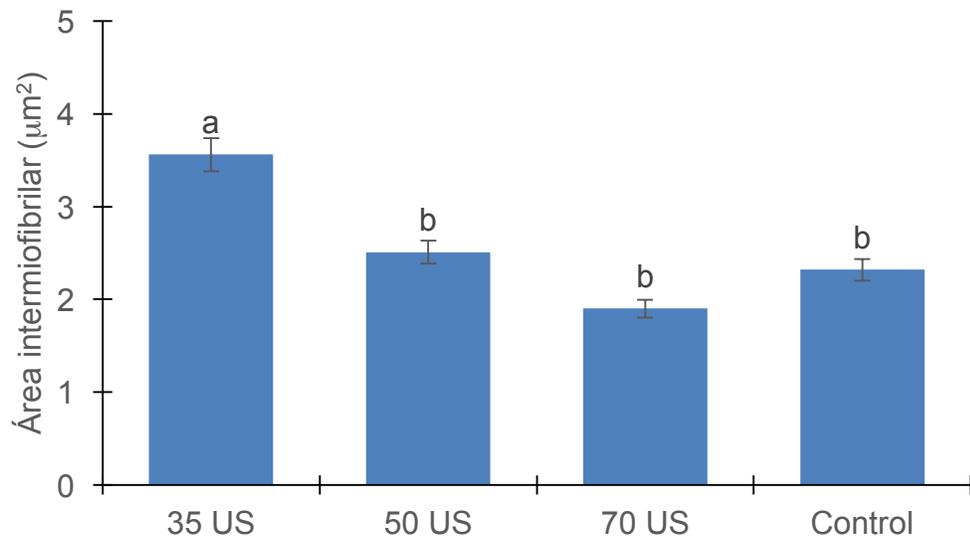
Figura 3. Micrograffas electrónicas de barrido de las áreas intermiofibrilares del m. *Gluteus medius*. Magnificación 5000x; a) Control sin USAI, b) 70  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas intermiofibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ).

50  $\mu\text{m}$ , se corresponden con los descritos en la prueba sensorial, en la cual los panelistas percibieron mayor suavidad y menor esfuerzo al corte. Respecto a los espacios intermiofibrilares, las muestras tratadas durante 40 min con USAI y empacadas con bolsas de 35  $\mu\text{m}$  tuvieron mayores espacios intermiofibrilares; estos resultados se corresponden con los de esfuerzo de corte, ya que para estas muestras se encontró menor dureza.

Los resultados mostraron diferencia estadística significativa en los espacios interfibrilares del músculo *Biceps femoris* (Gráfica 19); en este caso, los espacios interfibrilares se incrementaron significativamente en las muestras en bolsas de 50  $\mu\text{m}$  y 40 min USAI (654.32  $\mu\text{m}^2$  en un área de 10,000  $\mu\text{m}^2$ ), 35  $\mu\text{m}$  y 40 min USAI (555  $\mu\text{m}^2$ ) y 70  $\mu\text{m}$  y 40 min USAI (349  $\mu\text{m}^2$ ), mientras que en los controles las áreas de espacios interfibrilares fueron de únicamente 194  $\mu\text{m}^2$ . Comparando estos resultados con los obtenidos para el músculo *Gluteus medius*, los espacios interfibrilares fueron mucho menores; esto justifica que no se hayan encontrado diferencias significativas en el esfuerzo de corte de *Biceps femoris*, ya que los espacios provocados por efecto del USAI no fueron suficientes para causar ablandamiento del músculo. Estos resultados se observan en las micrografías de la Figura 3, en donde se ilustra que la separación entre fibras se incrementó significativamente (pero menos que en *Gluteus medius*) en los tratamientos con USAI, mientras que en los controles la separación es apenas visible. Un acercamiento mayor mediante el microscopio electrónico de barrido (a nivel miofibrilar) permitió observar y cuantificar los espacios entre miofibrillas



Gráfica 19. Áreas interfibrilares del músculo *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).



Gráfica 20. Áreas intermiofibrilares del músculo *Biceps femoris* almacenado durante 7 d a 4 °C por efecto del grosor de empaque y tiempo de USAI; 35 USAI (35 µm 40 min USAI), 50 USAI (50 µm 40 min USAI), 70 USAI (70 µm 40 min USAI), control (0 min USAI) (media ± D.E.).

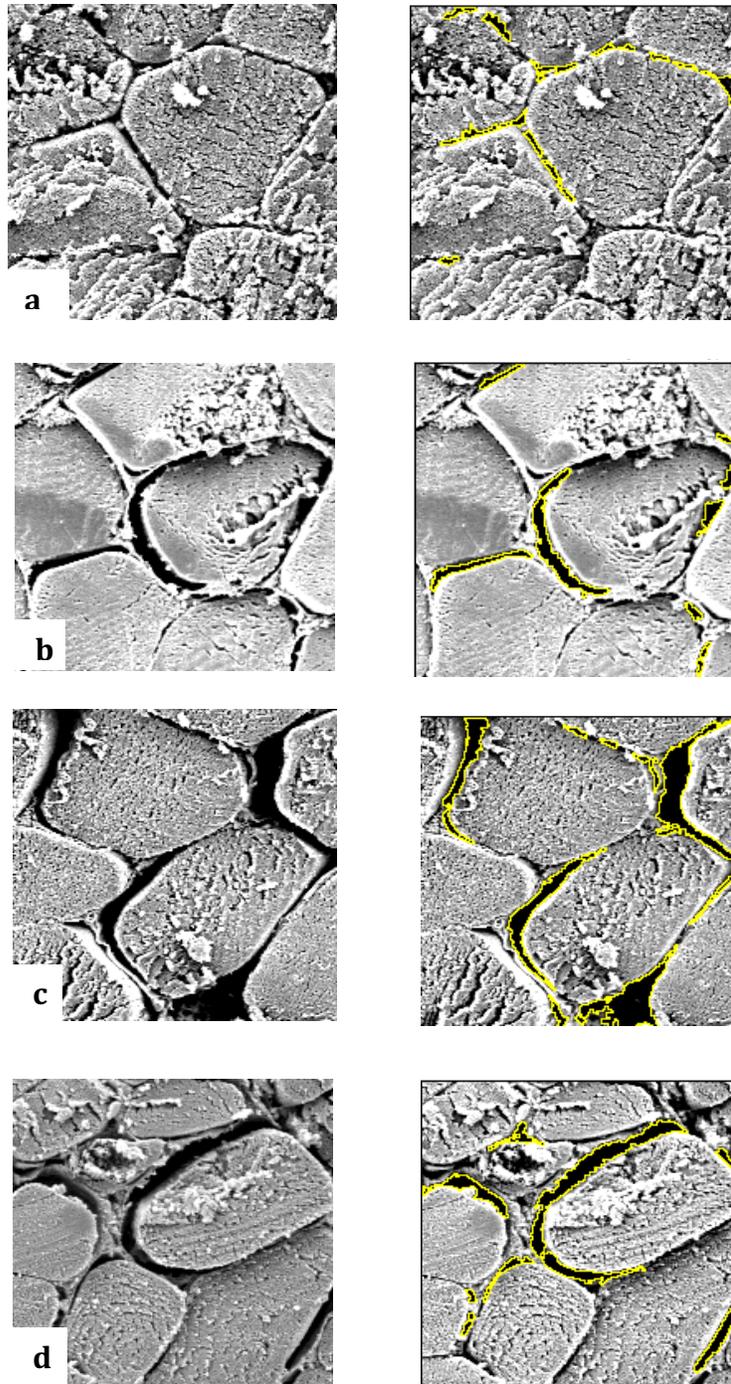


Figura 4. Micrografías electrónicas de barrido de las áreas interfibrilares de *Biceps femoris*. Magnificación 200x; a) Control sin USAI, b) 70  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas interfibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ).

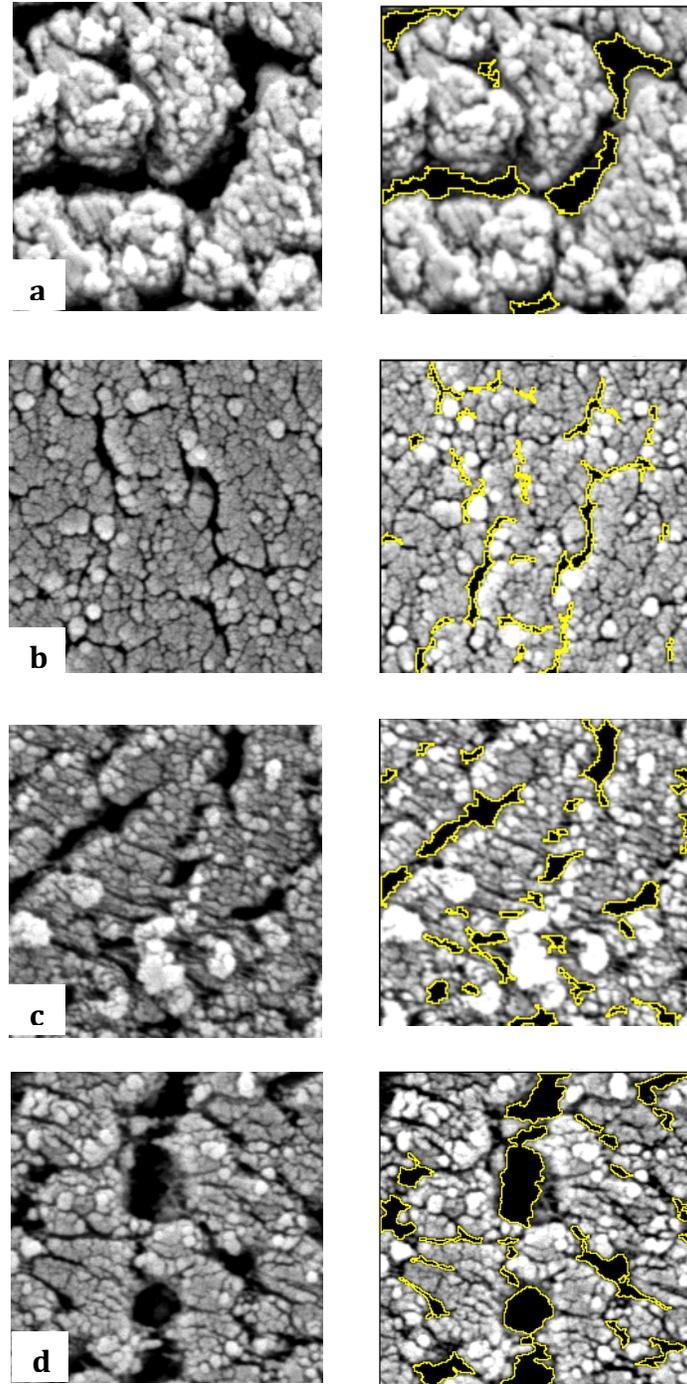


Figura 5. Micrografías electrónicas de barrido de las áreas intermiofibrilares de *Biceps femoris*. Magnificación 5000x; a) Control sin USAI, b) 70  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI, c) 50  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI y d) 35  $\mu\text{m}$ , 40 min USAI; los espacios en amarillo muestran las áreas intermiofibrilares consideradas en los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ).

en *Biceps femoris*. Los resultados mostraron un aumento significativo en los espacios intermiofibrilares del músculo en muestras tratadas con USAI, desde  $2.32 \mu\text{m}^2$  (en el control sin USAI) hasta  $3.56 \mu\text{m}^2$  ( $35 \mu\text{m}$  40 min USAI) en un área de  $25 \mu\text{m}^2$  (Gráfica 20); en la Figura 2 se corrobora la separación significativa de las miofibrillas en estas muestras. Nuevamente, los espacios intermiofibrilares fueron menores en *Biceps femoris*, en comparación con *Gluteus medius*. Los resultados de las muestras tratadas durante 40 min con USAI y empacadas con bolsas de 50 y 35  $\mu\text{m}$  tienen las mayores áreas de espacios interfibrilares e intermiofibrilares respectivamente; esto no se corresponde con los resultados de esfuerzo al corte, en donde la dureza se incrementó al ser tratadas con USAI.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de bolsas de bajo grosor junto con la aplicación de US no afectó el espacio de color CIE L\*a\*b\*, con excepción en el factor de grosor de bolsa en el músculo *Gluteus medius*, los valores de a\* se vieron afectados. Los valores de CRA, pH y de esfuerzo al corte se redujeron en *Gluteus medius* conforme disminuía el grosor de bolsa. La evaluación sensorial y los efectos microestructurales fueron reflejados en las mediciones fisicoquímicas de ablandamiento al disminuir el grosor de bolsa. El uso de empaques al vacío de bajo grosor en conjunto con el USAI constituye una tecnología prometedora para la carne de bovino porque los resultados encontrados mostraron efectos positivos en la estandarización de los los valores de CRA y del espacio de color CIE L\*a\*b\*, incluyendo el aumento en la blandura de la carne. Los resultados de este estudio sugieren que se puede utilizar el USAI para aumentar la luminosidad de la carne y sea más atractiva a la vista. Sin embargo, el efecto del ultrasonido en el ablandamiento debido a la orientación de las fibras musculares en *Biceps femoris* deben investigarse más a fondo.

## LITERATURA CITADA

- Abdalhai, M.H., M. Bashari, C. Lagnika, Q. He y X. Sun. 2014. Effect of Ultrasound Treatment Prior to Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on Microbial and Physical Characteristics of Fresh Beef. *Journal of Food and Nutrition Research* 2(6):312-320.
- Alberti, P., B. Panea, G. Ripoll, C. Sañudo, J. L. Olleta, I. Negueruela, M. Campo y X. Serra. 2005. Medición del color. En *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Monografías INIA: Ganadera 3:216-225.
- Amiri, A. P., P. Sharifian, y N. Soltanizadeh. 2018. Application of ultrasound treatment for improving the physicochemical, functional and rheological properties of myofibrillar proteins. *International Journal of Biological Macromolecules* 111, 139–147.
- AMSA. 2012. American Meat Science Association: Meat Colour Measurement Guidelines. Champaign, Illinois USA.
- AMSA. 2015. American Meat Science Association: Research guidelines for cooker, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of meat. Second edition (version 1.0). 104 p.
- Alves, L. L., C. Rampelotto, M.S. Silva, H.C. De Moura, E.C. Durante, R.O. Mello, C.R. Menezes, J.S. Barin, P.C.B. Campagnol, A. J. Cichoski. 2018. The effect of cold storage on physicochemical and microbiological properties of beef Semitendinosus muscle subjected to ultrasonic treatment in different systems (bath or probe), *Int. Food Res. J.* 25 504–514.
- Bevilacqua, A., M. Sinigaglia, y M.R. Corbo. 2013. Ultrasound and antimicrobial compounds: a suitable way to control *Fusarium oxysporum* in juices, *J. Food Bioproc. Technol.* 6 (5), 1153–1163.
- Cárcel, J. A., J. Benedito, J. Bon, y A. Mulet. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining, *J. Meat Sci.* 76, 611–619.
- Carrillo-Lopez, L. M., M. Huerta-Jimenez, I.A. Garcia-Galicia, y A.D. Alarcon-Rojo. 2019. Bacterial control and structural and physicochemical modification of bovine Longissimus dorsi by ultrasound. *Ultrasonics - Sonochemistry* 58, 104608.
- Caraveo, O., A.D. Alarcon-Rojo, A. Renteria, E. Santellano, y L. Paniwnyk. 2015. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with

- highintensity ultrasound and stored at 4 °C, *J. Sci. Food Agric.* 95, 2487–2493.
- Chang, H. –J., X.-L. Xu, y G.-H. Zhou. 2012. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing. *Food Bioprocess Technol*, 5:285–297.
- Chang, H. –J., Q. Wang, C.-H. Tang, y G.-H. Zhou. 2015. Effects of Ultrasound Treatment on Connective Tissue Collagen and Meat Quality of Beef Semitendinosus Muscle. *J. Food Qual.* 38, 256–267.
- Commission International De l' Eclairage.1976. *Colorimetry*. 2nd ed. Vienna, Switzerland: CIE.
- Got, F., J. Culioli, P. Berge, X. Vignon, T. Astruc, J.M. Quideau, y M. Lethiecq. 1999. Effects of high-intensity high frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physicochemical properties of beef. *Meat Sci.* 51, 35-42.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* 49:447-457.
- Jayasooriya, S. D., B.R. Bhandari, P. Torley, B.R. D'Arcy. 2004. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *Int. J. Food Prop.* 7, 2, 301-319.
- Jayasooriya, S. D., P.J. Torley, B.R. D'Arcy, y B.R. Bhandari. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Sci.* 75, 628-639.
- Jones, S. J., A. Guru, V. Singh, B. Carpenter, C.R. Calkins, y D. Johnson. 2004. *Bovine Myology and Muscle Profiling*. Available: <http://bovine.unl.edu>.
- Lyng, J. G., P. Allen, y B.M. McKenna. 1997. The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness, *J. Muscle Foods* 8 237–249.
- McDonnell, C. K., P. Allen, C. Morin, y J.G. Lyng. 2014. The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat, *Food Chem.* 147, 245–251.
- Meilgaard, M.C., B.T. Carr & G.V. Civille. 2006. *Sensory Evaluation Techniques*. 4<sup>th</sup> ed, CRC Press. 464 p.

- O'Sullivan, M. O., D.V. Byrne, y M. Martens. 2003a. Evaluation of pork colour: sensory colour assessment using trained and untrained sensory panellists, *Meat Sci.* 63 119–129, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00065-7).
- O'Sullivan, M. O., D.V Byrne, H. Martens, L.H. Gidskehaug.2003b. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis, 65 909–918. doi:10.1016/S0309- 1740(02)00298-X.
- Peña-González, E. M., A.D. Alarcón-Rojo, A. Rentería, I. García, E. Santellano, A. Quintero, L. Luna.2017. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef, *Ital. J. Food Sci.* 29 463–475, <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v604>.
- Pohlman, F. W., M.E. Dikeman, y D. H. Kropf. 1997b. Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle. *Meat Science*, 46, 89–100.
- Pohlman, F. W., M.E. Dikeman, y 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, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(96\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00105-2).
- Reynolds, E. S. 1963. The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy. *Journal of Cell Biology* 17:208-212.
- Senaratne, L. S., C.R. Calkins, A.S de Mello, JR., S. Pokharel, y J.B. Hinkle. 2011. Intramuscular Tenderness and Muscle Fiber Orientation of Beef Round Muscles. *Nebraska Beef Cattle Reports*. 631.<http://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/631>.
- Sikes, A. L., R. Mawson, J. Stark, y R. Warner. 2014. Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 21, 2138–2143.
- Stadnik, J., Z.J. Dolatowski, y H.M. Baranowska. 2008. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing. *LWT - Food Science and Technology* 41, 2151-2158.
- Stadnik, J., y Z.J. Dolatowski.2011. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus), *Eur. Food Res. Technol.* 233 553–559, <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1550-5>.

- Tsai, T., y H. Ockerman. 1981. Water binding measurement of meat. *Journal of Food Science* 46(3):697-701.
- Wang, A., D. Kang, W. Zhang, C. Zhang, Y. Zou, y G. Zhou. 2018. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef M. semitendinosus by the application of ultrasound. *Food Chem.* 245, 724–730.