



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL**

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETECTAR CARNE PÁLIDA, SUAVE
Y EXUDATIVA EN PIERNAS DE CERDO”**

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS DE
LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

PRESENTA

ANA LAURA SOLIS ALANIS

**TUTOR PRINCIPAL:
M.C. ENRIQUE JESÚS DELGADO SUÁREZ
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA UNAM**

**COMITÉ TUTORAL: DRA. MARÍA SALUD RUBIO LOZANO, FACULTAD DE
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA UNAM**

**COMITÉ TUTORAL: DR. DIEGO BRAÑA VARELA, PROGRAMA DE
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA
SALUD ANIMAL**

MEXICO, D.F. MARZO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mis padres, hermanas, sobrino y amigos por su apoyo, confianza y amor incondicional.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo brindado a través del Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado PAEP. A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Al Macroproyecto “Indicadores de calidad en la cadena de producción de carne fresca en México”, con registro y fondos de SAGARPA-CONACYT no. 109127 y administrado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, por el apoyo económico para la realización de este trabajo.

A mi tutor principal Enrique Delgado Suárez por su apoyo, tiempo y orientación. A los miembros de mi comité tutor, María Salud Rubio Lozano y Diego Braña Varela, por su apoyo y orientación.

A todos mis compañeros y amigos que me ayudaron en este proyecto. En especial a Gemma Ibarra, Diana Maldonado, Francisco Ruiz López, Raúl Ocampo, por su apoyo y la amistad que me brindaron.

Resumen

El objetivo del estudio fue desarrollar una propuesta metodológica para detectar la presencia de carne pálida suave y exudativa (PSE) en piernas de cerdo. Se trabajó en una planta de corte y deshuese de cerdos, donde se preseleccionaron 30 piernas de calidad normal y 30 PSE, aproximadamente 8-9 días *post mortem*, con base en la evaluación subjetiva del color y la exudación de líquido en la superficie. De cada pierna se diseccionaron los músculos *biceps femoris* (BF), *rectus femoris* (RF), *semimembranosus* (SM), *semitendinosus* (ST) y *vastus lateralis* (VL), a los que se les midió el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y el color instrumental (CIELAB). En carne PSE, el intervalo de confianza al 95% para la media (ICM) del pH fue de 5.5-5.6, en BF y SM; de 5.5-5.7, en ST; de 5.6-5.7, en VL y de 5.7-5.9, en RF. Asimismo, el ICM de L* en carne defectuosa fue de 51-58 en BF, SM y ST; mientras que en RF y VL fue de 44-48. Para CRA, el ICM estuvo entre 27.6 y 36.5% en BF, SM y ST; mientras que para RF y VL fluctuó entre 30.1 y 46.5%. En general, los músculos con metabolismo predominantemente glicolítico (BF, SM y ST) reflejaron mejor el defecto PSE que aquellos donde predomina el metabolismo oxidativo (RF y VL). La diferencia total de color (ΔE^*_{ab}) entre carne normal y PSE fue > 4 en BF, SM y ST, lo que indica que, en carne PSE, el deterioro de la apariencia es fácilmente detectable de manera visual. En el presente trabajo se propone la evaluación del color (visual o instrumental), en conjunto con una determinación rápida de CRA, como una metodología económica y factible de aplicar a escala industrial, para la detección del defecto PSE en piernas de cerdo. Aunque experimentalmente esta metodología demostró funcionar, es preciso validarla en condiciones industriales.

Palabras clave: Calidad de carne, PSE, pH, color, CRA.

Abstract

The aim of the study was to develop a methodology to detect Pale, Soft, and Exudative (PSE) meat in pork hams. The research was conducted in a pork cutting and deboning processing plant about 8-9 days *post mortem*. A total of 60 pork hams (30 of normal quality and 30 with PSE condition) were pre-selected, based on subjective color and exudative appearance. From each ham, we dissected muscles *biceps femoris* (BF), *rectus femoris* (RF), *semimembranosus* (SM), *semitendinosus* (ST), and *vastus lateralis* (VL). Each muscle was analyzed for pH, water holding capacity (WHC) and instrumental color (CIELAB). In PSE pork, the 95% confidence interval of the mean (CIM) for pH was 5.5-5.6, in BF and SM; 5.5-5.7, in ST; 5.6-5.7, in VL; and 5.7-5.9, in RF. Likewise, the CIM for L* in PSE samples was 51-58 in BF, SM, and ST; while that of RF and VL was 44-48. For WHC, the CIM varied between 27.6 and 36.5% in BF, SM, and ST; while for RF and VL it fluctuated between 30.1 and 46.5%. In general, PSE condition was easier to observe in muscles with a predominant glycolytic metabolism (BF, SM, and ST) than in those with predominant oxidative metabolism (RF and VL). Total color difference (ΔE^*_{ab}) between normal and PSE pork was >4 in BF, SM, and ST, which indicates the undesirable appearance of PSE pork is easy to detect visually in these muscles. The present investigation proposes a methodology for PSE detection in pork hams, based on color evaluation (subjective or instrumental) and a quick WHC measurement. Such methodology is cheap and feasible to apply by the pork industry. Even though it worked under experimental conditions, it needs to be validated at industrial scale.

Keywords: meat quality, PSE, pH, color, CRA.

Índice

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	V
Lista de Cuadros	VIII
Lista de Figuras	IX
Introducción	1
1. Antecedentes	2
1.1 Generalidades del defecto PSE (Pálido, Suave y Exudativa)	2
1.1.1 Bioquímica post mortem y desarrollo de carne PSE.....	2
1.1.2 Gen Halotano (Hal).....	3
1.1.3 Gen Rendimiento Napole (RN).....	5
1.1.4 Características indeseables de las carnes PSE.....	6
1.1.5 Criterios para discriminar carnes PSE.....	7
1.1.6 Fibras musculares y tipos de músculo.....	9
1.2 Impacto económico de carnes PSE en México y el Mundo	12
1.3 Metodologías empleadas para la detección de carne PSE en cerdo	13
2. Justificación	16
3. Hipótesis	17
4. Objetivo	17
5. Objetivos Específicos	17
6. Materiales y Métodos	18
6.1 Origen y selección de las muestras	18
6.2 Músculos evaluados	18
6.3 Análisis instrumental del color	19
6.4 Determinación del pH	19
6.5 Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)	20
6.6 Análisis Estadístico	20
7. Resultados	21
7.1 Efecto de la clasificación por calidad en las variables estudiadas	21
7.2 Diferencias en los atributos de calidad de músculos provenientes de piernas PSE y normales	21
7.2.1 pH.....	21
7.2.2 Variables instrumentales del color	22
7.2.3 Capacidad de retención de agua	24

7.3	Estimación por intervalos de confianza de la media de los atributos de calidad en carne normal y PSE	24
8.	Discusión.....	25
9.	Conclusiones	31
10.	Referencias.....	31

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Incidencias del gen Halotano en el mundo.....	4
Cuadro 2. Incidencias del gen Rendimiento Napole en el mundo	6
Cuadro 3. Criterios utilizados para discriminar carne PSE y Normal.....	8
Cuadro 4. Porcentaje de Tipo de fibras presentes en los músculos de la pierna de cerdo y lomo.....	11
Cuadro 5. Incidencia y pérdidas económicas por carne PSE en el Mundo.	12
Cuadro 6. Medias \pm desviación estándar de los atributos de calidad estudiados en carne Normal y PSE.....	21
Cuadro 7. Prueba de hipótesis (t de student) relativa a la diferencia entre las medias del pH en músculos de calidad normal (n=30) y PSE (n=30).....	22
Cuadro 8. Prueba de hipótesis (t de student) relativa a la diferencia entre las medias de las variables de color en músculos de calidad normal (n=30) y PSE (n=30).....	23
Cuadro 9. Diferencia total de color ΔE^*_{ab} entre la carne normal y PSE.....	24
Cuadro 10. Prueba de hipótesis (t de student) relativa a la diferencia entre las medias de la CRA (%) en 30 músculos de calidad normal y 30 músculos PSE.....	24
Cuadro 11. Intervalos de confianza de la media al 95% para pH, color y CRA en carne de calidad normal (n=30) y PSE (n=30).....	25

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Caída de pH post mortem y carne PSE, Normal y DFD</i>	2
Figura 2. <i>Características visuales de carne PSE (izquierda) y normal (derecha)</i>	7
Figura 3. <i>Estándares de NPPC de evaluación de la calidad de carne de cerdo</i>	15
Figura 4. <i>Categoría 1 (PSE) del Patrón Canadiense de color</i>	15
Figura 5. <i>Patrón Japonés para la evaluación del color de la carne de cerdo</i>	16
Figura 6. <i>Posición de los músculos Biceps femoris (BF), Rectus femoris (RF) y Vastus lateralis (VL)</i>	29
Figura 7. <i>Posición de los músculos Biceps femoris (BF), Semimembranosus (SM) y Semitendinosus (ST)</i>	29

Introducción

La carne pálida, suave y exudativa (PSE) es un defecto de calidad que causa importantes pérdidas económicas en la industria cárnica a escala global (Mota-Rojas et al., 2012, Van de Perre et al., 2010). De ahí el interés por desarrollar metodologías que permitan identificar las carnes PSE, para evitar que sean empleadas en los procesos, especialmente en la elaboración de embutidos (Lesiów and Xiong, 2013, Xing et al., 2007, Joo et al., 1999, McDonagh et al., 2005, Motzer et al., 1998).

Varios autores han propuesto la segregación de carnes PSE mediante valores de pH, pérdidas por goteo, así como de mediciones visuales e instrumentales del color (Van de Perre et al., 2010, McKeith and Pringle, 2013, McDonagh et al., 2005). Sin embargo, la mayor parte de los trabajos se realizan en el lomo (Ngo et al., 2009, Lesiów and Xiong, 2013, van Laack and Kauffman, 1999, Warriss et al., 2006, Boler et al., 2010, Copenhafer et al., 2006), un corte que, en comparación con las piernas, se utiliza mucho menos para elaborar embutidos.

La investigación sobre PSE en músculos de la pierna es muy escasa, por lo que es común, en la práctica industrial, que la calidad de éstas se dictamine con base en criterios desarrollados para el lomo. Ello dificulta el empleo de un lenguaje común en materia de calidad a escala comercial y con frecuencia genera desacuerdos entre proveedores y clientes.

Los estudios realizados hasta el momento no ofrecen una metodología específica para evaluar la calidad de las piernas que se emplean como materia prima en la industria cárnica. Por tanto, el objetivo de esta investigación es desarrollar un método para detectar la presencia del defecto PSE en piernas de cerdo.

1. Antecedentes

1.1 Generalidades del defecto PSE (Pálido, Suave y Exudativa)

Las carnes PSE (Pálida, Suave y Exudativa) están relacionadas directamente con el metabolismo muscular *ante-mortem*, que a su vez puede ser influenciado por diversos factores. Dichos factores pueden ser genéticos, de manejo y ambientales (Mota et al., 2012, Barbut et al., 2008).

1.1.1 Bioquímica post mortem y desarrollo de carne PSE

El defecto PSE está condicionado principalmente por un estado de estrés agudo, de corta duración, antes del sacrificio. Esto desencadena un metabolismo anormalmente acelerado en el músculo, provocando una degradación rápida de glucógeno. Como consecuencia, se genera acumulación de ácido láctico en el músculo *post mortem*, lo que provoca una brusca caída del pH (Figura 1), que alcanza valores inferiores a 6.0 en la primera hora *post mortem*. Lo contrario a las carnes DFD (Oscura, Firme y Seca), en donde el pH alcanza valores superiores a los 6.4 (Alarcón et al., 2005).

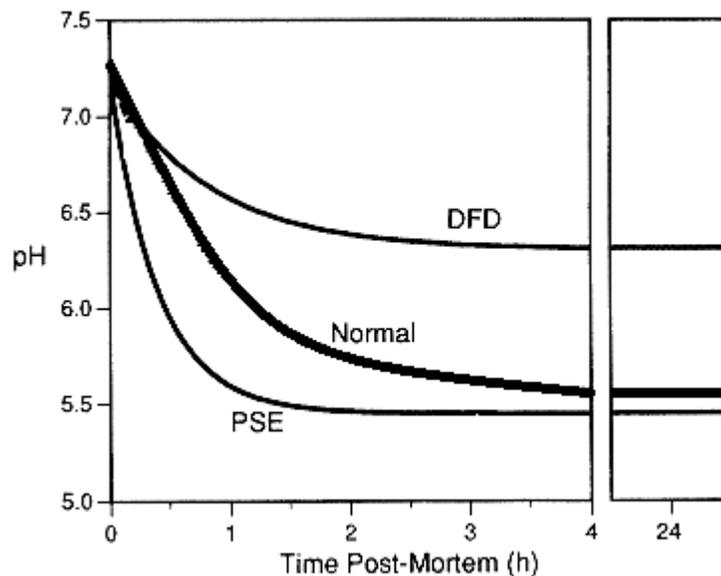


Figura 1. Caída de pH post mortem en carne PSE, Normal y DFD. Adaptado de (Gariépy et al., 1996)

Estos bajos valores del pH muscular se presentan cuando las canales aún están calientes (38-40 °C), lo que provoca una profusa desnaturalización o pérdida de estructura de las proteínas miofibrilares, lo que disminuye su solubilidad, que en carne PSE suele ser prácticamente la mitad en comparación con carne de calidad normal (Warner et al., 1997).

La desnaturalización proteica hace que se colapse parcialmente la estructura de la fibra muscular, lo que a su vez provoca un aumento en la cantidad de luz reflejada y, por tanto, una apariencia pálida (Lawrie, 1977). De hecho, se ha reportado que la pérdida de solubilidad de las proteínas cárnicas asociada con su desnaturalización explica más del 70% de la variación en la apariencia de la carne (Joo et al., 1999).

Por otra parte, los bajos valores de pH, cercanos al punto isoeléctrico de las proteínas cárnicas, reducen drásticamente su capacidad de retención de agua (CRA) por puentes de hidrógeno, una propiedad de gran importancia tecnológica, pues la carne con pobre CRA provoca grandes pérdidas en la industria de productos procesados (Scheffler and Gerrard, 2007, Copenhafer et al., 2006, Fernandez et al., 1994, Barbut et al., 2008).

1.1.2 Gen Halotano (Hal)

El gen receptor de la ryanodina (Ryr1), conocido como **gen halotano** (HAL), es asociado al Síndrome de Estrés Porcino (PSS) codifica para un receptor del músculo esquelético, provocando en el animal homocigoto recesivo y heterocigoto “mutante” una gran frecuencia de carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE) de muy baja calidad para la industria cárnica. El gen Hal interactúa con el factor ambiental (estrés *ante mortem*), para producir muerte súbita o alterar la calidad de la carne (Channon et al., 2000).

El gen Ryr1 (Halotano), codifica para el receptor de la ryanodina (Ryr1) o canal de liberación de calcio. Localizado en el cromosoma 6 del cerdo, el punto de mutación se encuentra en la posición 1843 de la secuencia de ADN del gen receptor para la rianodina (Ryr 1), donde se presenta una sustitución de una

citocina por una tiamina. Dicha sustitución causa un defecto al cambiar una arginina por una cisteína en la posición 615 de la proteína receptora de la Ryr1, que funciona como canal de liberación de calcio en el retículo sarcoplásmico del músculo esquelético (Fernandez et al., 2002, Scheffler and Gerrard, 2007).

El gen Ryr 1 tiene dos alelos, un alelo dominante normal (N) y el mutante recesivo (n) (Scheffler and Gerrard, 2007, Channon et al., 2000). Los cerdos portadores y positivos (Nn y nn) son hipersensibles a la liberación de Ca^{2+} en el sarcoplasma, para iniciar una contracción muscular sostenida y espontánea con mayor utilización de ATP y glucógeno. Lo anterior conlleva a la acumulación de ácido láctico en el músculo *post mortem*, lo que a su vez provoca una caída rápida de pH, que a los 45 min se encuentra por debajo de 6.0, dando como resultado carne PSE (Scheffler and Gerrard, 2007, Copenhafer et al., 2006).

Cuadro 1. Incidencias del gen Halotano en el mundo

País	NN(%)	Nn(%)	nn(%)	Autor
EE.UU.	97	2.3	45	Ritter <i>et al.</i> , 2008
Brasil	-	50	1	Luerce <i>et al.</i> , 2009
Sudáfrica	96.4	3.4	0.2	Soma <i>et a.l.</i> , 2014
	75	24	1	Dávalos- Aranda <i>et al.</i> , 2010
México	70.1	26	3.9	Riojas-Valdés <i>et a.l.</i> , 2005
	61.45	38.6	0	Sánchez- Chiprés <i>et al.</i> , 2008

Con respecto a la incidencia de este gen en el mundo, se tienen variaciones considerables. En un extremo (O'Brien et al., 1993) realizaron un estudio en EE.UU. con 10,245 cerdos de diferentes razas de 129 granjas y reportó que 1 de cada 5 cerdos es heterocigoto portador (Nn). La incidencia de la

mutación fue de hasta 97% en cerdos Pietrain, 35% en Landrace, 15% en Duroc, 19% en Large White, 14% en Yorkshire y 16% en Crossbred. Lo que contrasta con los porcentajes de cerdos portadores del gen de otros autores en diferentes países (Cuadro 1).

1.1.3 Gen Rendimiento Napole (RN)

El gen RN se ubica en el cromosoma 15 del cerdo y es una mutación del gen PRKAG3 que codifica para la subunidad gama de la proteína cinasa activada por la AMP (AMPK3). Esta mutación causa la sustitución de una arginina (R) por una glutamina (Q) en la posición 200 de la secuencia de dicha proteína (R200Q). El gen tiene tres alelos, uno dominante (RN^-), asociado con el glucógeno elevado en el músculo, un alelo recesivo (rn^+) asociado con niveles bajos de glucógeno y lactato, además de un nivel de pH final más alto en relación al alelo RN^- . Por último, existe un alelo 199I, en el cual hay una sustitución de una valina (V) por un isoleucina (I), relacionado con niveles bajos de glucógeno y lactato, niveles altos de pH, en lomos y jamones, con mejores records de color (Milan et al., 2000, Rosenvold and Andersen, 2003, Scheffler and Gerrard, 2007, Ciobanu et al., 2001, Scheffler et al., 2014).

Los cerdos positivos al alelo RN^- , presentan niveles de glucógeno que pueden ser hasta 70% mayores que los de un cerdo normal, principalmente en las fibras de Tipo IIB (blancas), que presentan compartimientos del retículo sarcoplásmico anormalmente extenso (Scheffler and Gerrard, 2007). Esto confiere un incremento sustancial de la capacidad para una glucólisis extendida, durante el proceso de conversión de músculo a carne, el cual provoca que se alcance un bajo pH *post mortem*, así como una abundante desnaturalización proteica y una baja capacidad de retención de agua, similar a lo que ocurre en la carne PSE.

Cuadro 2. Incidencias del gen Rendimiento Napole en el mundo

País	RN ⁻ /RN ⁻ (%)	rn ⁺ /rn ⁺ (%)	RN ⁻ /rn ⁺ (%)	Autor
Suecia	61.4	28.6	0	Enfalt <i>et al.</i> , 1997
EE.UU.	39.7	46.6	13.71	Leurence <i>et al.</i> , 2009 Miller <i>et al</i> 2000
Eslovenia	18.7	-	-	Soma <i>et al</i> , 2014
México	0	47.1	10.85	Davalos-Aranda <i>et al.</i> , 2010 Martínez-Quintana <i>et al.</i> , 2006
	0	59.3	1	Alarcón-Rojo <i>et al.</i> , 2008

La incidencia del gen RN⁻ ha sido reportada en otros países (Cuadro 2), con porcentajes un tanto altos, aunque con diferencias notables entre un país y otro. En contraste con datos en México, en donde no se encontraron cerdos con el gen dominante RN⁻ e índices bajos de cerdos portadores RN⁻/rn⁺. Esto podría ser por la heterogénea procedencia de los cerdos criados en México (Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

1.1.4 Características indeseables de las carnes PSE

La carne fresca de cerdo es evaluada principalmente a través de atributos como el color, firmeza, CRA y pH. Con esos atributos se clasifican hasta en cinco categorías de calidad que son PSE (Pálida, Suave y Exudativa), RSE (Rojo, Suave y Exudativo), PFN (Pálido, Firme y No Exudativo), la normal o RFN (Roja, Firme No Exudativa), y la DFD (Oscura, Firme y Seca)(van Laack *et al.*, 1994).

Visualmente, la apariencia pálida, suave y exudativa es muy evidente comparándola con carne normal (Figura 2). Las carnes PSE presentan una baja CRA ($\leq 35\%$) frente a la carne de calidad normal (36-45%) (Tomovic *et al.*, 2014).

Esta condición se atribuye a la desnaturalización de proteínas miofibrilares (principalmente miosina), durante el proceso de conversión de músculo a carne. Ello provoca la liberación de agua hacia el espacio intersticial, el cual se incrementa por la contracción *post mortem* de las fibras musculares, dando una apariencia exudativa a la carne. El exudado extremo aumenta la luz reflejada de la superficie de la carne, provocando un color muy pálido (Swatland, 2008, Huff-Lonergan and Lonergan, 2005).



Figura 2. Características visuales de carne PSE (izquierda) y normal (derecha)

1.1.5 Criterios para discriminar carnes PSE

La importancia de los atributos de calidad en la carne, difiere en función del segmento de la producción en que es sometida. En carne fresca, los principales atributos que se utilizan para discriminar las carnes normales de PSE son el pH, valores de L*, % de pérdidas por goteo, así como la CRA (Cuadro 3).

Los valores de estos criterios varían de un autor a otro, debido a la dificultad de reproducción de los métodos utilizados (Kocwin-Podsiadla et al., 2006). Las condiciones necesarias para reproducir estos métodos en producción, en muchas ocasiones son muy difíciles y pueden variar de una planta de procesamiento a otra, complicando la aplicación de estos criterios. Un ejemplo de ello es el caso del % de pérdidas por goteo, el cual es uno de los criterios más utilizados para discriminar carne PSE (Warner et al., 1997). Sin embargo la obtención de resultados no es tan rápida como se necesita en producción.

De igual forma sucede con la medición de CRA, en donde existen métodos como los de centrifugación, papel filtro o de compresión entre dos placas. Los cuales difieren entre unos y otros en materiales y tiempos de obtención de resultados (Kauffman et al., 1986a, Kauffman et al., 1986b, Van Oeckel et al., 1999, Braña Varela et al., 2011). A pesar de ello, estos métodos pueden ser muchos más rápidos y prácticos para aplicarlos en los procesos.

Cuadro 3. Criterios utilizados para discriminar carne PSE y Normal

Atributo	Músculos	Grupo de calidad		Autor
		Normal	PSE	
pH _u	<i>semimembranosus</i> y <i>adductor</i>	5.8-6.0	<5.8	Motzer <i>et al.</i> , 1998
pH ₄₅	<i>longissimus thoracis</i> et <i>lumborum</i>	>6.0	≤6.0	O'Neill <i>et al.</i> , 2003
pH _u		5.6	5.2	Lien <i>et al.</i> , 2002
pH _u		≥5.5	<5.5	Juzl <i>et al.</i> , 2013
L*	<i>semimembranosus</i> y <i>adductor</i>	48.21	58.89	McDonagh <i>et al.</i> , 2005
	<i>longissimus thoracis</i> et <i>lumborum</i>	45-60	>60	Juzl <i>et al.</i> , 2013
Pérdidas por goteo 24 h (%)	<i>longissimus thoracis</i> et <i>lumborum</i>	≤3	>3	Golding-Myers <i>et al.</i> , 2010
		≤7	>7	Cheah <i>et al.</i> , 1998
		≤5	>5	Van Laack <i>et al.</i> , 1994
CRA (%)	<i>longissimus thoracis</i> et <i>lumborum</i>	35-45	≤35	Tomovic <i>et al.</i> , 2014

El color es uno de los atributos más utilizados para la evaluación de carne fresca, ya que está asociado a los defectos de calidad como el PSE (Warner et al., 1997, Lien et al., 2002). El color perceptible tiene propiedades como tono o Hue (h*) luminosidad (L*) y saturación (C*). Específicamente los valores de L* describen la luminosidad u oscuridad del color y van de 0 (negro) a 100 (blanco)(AMSA, 2012). L* es la variable de calidad mejor correlacionada con determinaciones visuales del color en lomo de cerdo (r=-0.67 a -0.80)(Brewer et

al., 2001). Las mediciones de L* tienen la ventaja de que pueden ser usados en combinación con la evaluación visual. Aunque, la desventaja es que se debe ser puntual en las especificaciones en la que se hace la medición. Las especificaciones deben considerar, la escala de medición, el instrumento (colorímetro o espectrofotómetros), iluminante, tamaño de apertura, tiempo de oxigenación, ángulo de observación. Se debe tomar en cuenta que el estandarizar estas variables de medición, es muy importantes para que las comparaciones sean efectivas (AMSA, 2012).

Otro criterio de variación en los valores de medición es el tipo de músculo que es utilizado para tomar las mediciones. El cual puede influir sobre los atributos de calidad y puede causar todavía más discrepancias a la hora de aplicar los métodos. Este aspecto también tiene que ser tomado en cuenta para estandarizar los criterios para la segregación de carnes defectuosas (Klont et al., 1998, Rosenvold and Andersen, 2003).

1.1.6 Fibras musculares y tipos de músculo

El músculo esquelético está compuesto por diferentes tipos de fibra. Cada tipo de fibra muscular tiene diferentes características bioquímicas, metabolismo oxidativo o glicolítico, tipo de contracción, tamaño de la fibra, contenido de mioglobina y glucógeno (Choe et al., 2008, Karlsson et al., 1999). Las fibras se clasifican (Klont et al., 1998) en tres tipos:

- **Tipo I de contracción lenta-oxidativa:** Son rojas ya que contienen gran cantidad mioglobina, tienen altos niveles de enzimas que intervienen en el metabolismo oxidativo, un gran número de mitocondrias, su metabolismo es aerobio, por lo que requiere grandes cantidades de oxígeno para producir energía. Contenido más alto de capilares por fibra. Ejemplos de músculos con fibras tipo I son el *m. masseter*, *m. vastus intermedius*, *m. tríceps brachii* (Karlsson et al., 1999).
- **Tipo IIA o de contracción rápida oxido- glicolítica:** También conocidas como fibras de tipo intermedio, tienen características

intermedias entre fibras I y IIB. Tiene capacidades oxidativas y glicolíticas.

- **Tipo IIB o de contracción rápida glicolítica:** Son fibras blancas, contienen altas tasas de glucógeno, así como la capacidad de metabolizarlo de mejor manera. Poseen un retículo sarcoplásmico más extenso que las fibras rojas. Por tanto, la liberación de Ca^{2+} , puede tener una variación importante con respecto a los otros tipos de fibra. Contienen pocas mitocondrias, y su metabolismo es glicolítico (Scheffler and Gerrard, 2007). Ejemplos de músculos porcinos con altos grados de fibras tipo IIB: el *m. longissimus dorsi*, *m. gluteus medius*, *m. biceps femoris*, *m. vastus lateralis* y el *m. semimembranosus*.

En cerdos, muchos músculos tienen una distribución única de las fibras (Cuadro 4), las fibras de tipo I se agrupan en racimos y las fibras de tipo IIA están en estrecha proximidad y ambas son rodeadas por fibras de tipo IIB (Henckel et al., 1997). Es decir, dentro de los músculos, la zona más profunda tiene mayor proporción de fibras de tipo I con una capacidad oxidativa superior al área del exterior (Rosser et al., 1992).

La relación entre el tipo de fibra y la calidad de la carne se encuentra estrechamente relacionada. Los diferentes tipos de fibra en el músculo, tienen efectos sobre todo en los cambios *post mortem* durante la conversión de músculo a carne y por tanto, una influencia determinante sobre la calidad final (Ryu et al., 2005, Lee et al., 2010, Choi and Kim, 2009). El tipo de fibra es uno de los factores que pueden influenciar de manera importante el desarrollo de PSE en el músculo. Ryu et al. (2005), encontró que L^* está relacionada negativamente con el tipo de fibra I y IIA ($r=-0.24$ y -0.015) y positivamente con el tipo de fibra IIB ($r=0.33$). Esto nos indica que a mayor porcentaje de fibras tipo IIB, se incrementan los valores de L^* . De igual forma el % de pérdidas por goteo está inversamente relacionada con el tipo de fibra I y IIA ($r=-0.25$ y -0.26) y positivamente con el tipo de fibra IIB ($r=0.39$). Por tanto, los músculos que tienen predominantemente fibras tipo IIB,

retienen menos agua. Por otro lado, el pH_U , se encontró relacionado negativamente con las fibras de tipo IIB ($r=-.033$) y positivamente con fibras tipo IIA ($r=0.32$). Altos porcentajes de fibras tipo IIB están relacionados, con el incremento en la tasa de caída de pH_U . Los músculos que tienen mayores porcentajes de fibras tipo IIB, son más susceptibles a pH_U bajos y por ende carne con pérdidas de agua y color pálido.

Cuadro 4. Porcentaje de Tipo de fibras presentes en los músculos de la pierna de cerdo y lomo

Músculo	Tipo I %	Tipo IIA %	Tipo IIB %	Autor
<i>M. longissimus dorsi</i>	5-15	-	80-90	Choi y Kim., 2009
	11.1	6.9	81.5	Christensen <i>et al.</i> , 2004
	8	8	83	Karlsson <i>et al.</i> , 1993
<i>M. biceps femoris</i>	22	8	69	Karlsson <i>et al.</i> , 1993
	19.2	11.8	50.3	Andrés <i>et al.</i> , 2001
<i>M. rectus femoris</i>	21	23	54	Karlsson <i>et al.</i> , 1993
<i>M. semimembranosus</i>	7.3	5.4	87.2	Christensen <i>et al.</i> , 2004
<i>M. semitendinosus</i>	0.9	5.0	94.7	Christensen <i>et al.</i> , 2004
<i>M. vastus lateralis</i>			*	Karlsson <i>et al.</i> , 1999

* Solo se reporta presencia de fibras

Generalmente en las carnes PSE se presenta en músculos blancos con fibras glicolíticas como el *m. longissimus dorsi* (LD) y el *m. biceps femoris* (BF) (Cuadro 4). Tales músculos contienen predominantemente fibras blancas, los cuales los vuelve potencialmente susceptibles a una glicólisis acelerada *post mortem* y, por tanto, a desarrollar PSE. Por el contrario, los músculos rojos con fibras oxidativas son mucho menos susceptibles a una glicólisis acelerada. (Mota *et al.*, 2012, Prändl *et al.*, 1994, Karlsson *et al.*, 1999). Tomar en cuenta el tipo de

fibras presentes en los músculos, cuando se va a evaluar la calidad de piernas de cerdo es importante, por la diversidad en los tipos de fibras presentes en los músculos.

1.2 Impacto económico de carnes PSE en México y el Mundo

A la fecha, el defecto PSE sigue siendo uno de los problemas más importantes que afecta a la industria cárnica a escala global (McDonagh et al., 2005, Mota et al., 2012, Tomovic et al., 2013). La incidencia de estas carnes ha causado cuantiosas pérdidas económicas. Solo en Estados Unidos de América, va de 16% hasta 60% en algunos casos (Kauffman et al., 1992). Datos similares se han reportado en otros países del mundo, resaltando incidencias superiores al 10% (Cuadro 5).

Cuadro 5. Incidencia y pérdidas económicas por carne PSE en el Mundo

País	Incidencia	Pérdidas económicas por cabeza sacrificada	Pérdidas económicas por año	Autor
EE.UU.	16%	US \$0.90	US \$ 90 millones	Kauffman <i>et al.</i> , 1992
Portugal	10-30%	-	-	Santos <i>et al.</i> , 1994
Canadá	13%	US \$5	-	Murray., 2000
Australia	-	-	US \$ 20 millones	Cassell <i>et al.</i> , 1991
Ucrania	-	-	US \$ 20 millones	Guise., 1987
Inglaterra	43%	-	-	Gajana <i>et al.</i> , 2013
Colombia	33.65%	-	-	Castrillon <i>et al.</i> , 2005
México	3.4%	-	-	Alarcón <i>et al.</i> , 2005
	31%	-	-	Mota-Rojas., 2006

Con los esfuerzos realizados a lo largo de los años ha disminuido la incidencia de carne PSE. Sin embargo, sigue siendo el defecto más frecuente y con mayor impacto económico en la carne de cerdo. Son varias las investigaciones que documentan el impacto económico negativo de las carnes PSE en embutidos. Por ejemplo, Alarcón Rojo et al. (2007), observaron que la inclusión de 20% de carne PSE, en la formulación de jamón cocido, generó pérdidas cercanas al 16% en comparación con el grupo control. Por su parte, O'Neill et al. (2003a), estimaron pérdidas financieras del 50%, en jamón procesado con carne PSE.

Tomando en cuenta lo analizado hasta el momento, resulta evidente la necesidad de contar con metodologías para la detección oportuna del defecto PSE. Con frecuencia este objetivo no se logra, específicamente en las piernas de cerdo, que están entre las principales materias primas de la industria de embutidos en México. Resulta pues, necesario, trabajar en el desarrollo de métodos estandarizados y con sustento científico para la segregación de carne PSE en este tipo de carne. Ello facilitará tomar medidas preventivas y correctivas que reduzcan el efecto económico negativo de este defecto a escala industrial.

1.3 Metodologías empleadas para la detección de carne PSE en cerdo

En la actualidad, aún es muy difícil, realizar eficientemente esta clasificación. Las metodologías utilizadas para segregar las diferentes categorías de calidad son las objetivas y las subjetivas. Según Cheftel et al. (1988) se utilizan dos métodos para la evaluación de carnes:

1. **Objetivos:** En los cuales se requiere disponer de equipos o de instrumentos que permitan conocer atributos o características específicas de las carnes a evaluar y cuyos resultados son precisos. Los principales equipos son los espectrofotómetros, colorímetros, y potenciómetros.

2. Subjetivos: Se basan principalmente en los conocimientos y experiencias de personas debidamente entrenadas para evaluar carnes en sus aspectos. Estos análisis sensoriales tienen como finalidad determinar el color, olor, sabor y suavidad de las carnes.

Durante mucho tiempo se han desarrollado métodos objetivos para detectar carne PSE. Por ejemplo, la medición del pH a los 45 min (pH₄₅) *post mortem*, en la etapa pre-rigor (Boler et al., 2010, Flores and Toldra, 2014) que está entre los análisis más utilizados para detectar carne PSE. Aunque estas mediciones son fáciles y rápidas, pueden presentar mucha variabilidad, por lo que es mejor utilizarlas en conjunto con otras variables.

En cuanto al periodo *post rigor*, se han desarrollado métodos basados en la capacidad de retención de agua (CRA), mediciones instrumentales del color, específicamente la luminosidad (L*) (van Laack et al., 1994, Warriss and Brown, 1987). También se han desarrollado metodologías basadas en la espectroscopía visible (Xing et al., 2007, Castro-Giráldez et al., 2010) o en sistemas de visión por computadora (Chmiel et al., 2011). Estos métodos son eficientes, pero costosos, lo que limita su uso en la industria.

En cuanto los métodos subjetivos, las evaluaciones visuales de color se encuentran entre los métodos más populares para discriminar carne PSE a escala industrial. Los patrones de color más utilizados son los desarrollados en Estados Unidos de América (NPPC, 1999) (Figura 3), Canadá (Pork Quality, 1984) (Figura 4) y Japón (Figura 5). Con estos patrones se compara categorías de color más clara, frente al color oscuro. No obstante, el uso de estas herramientas requiere personal entrenado y, además, la determinación de la presencia del defecto PSE con base en observaciones visuales puede ser muy inexacto.

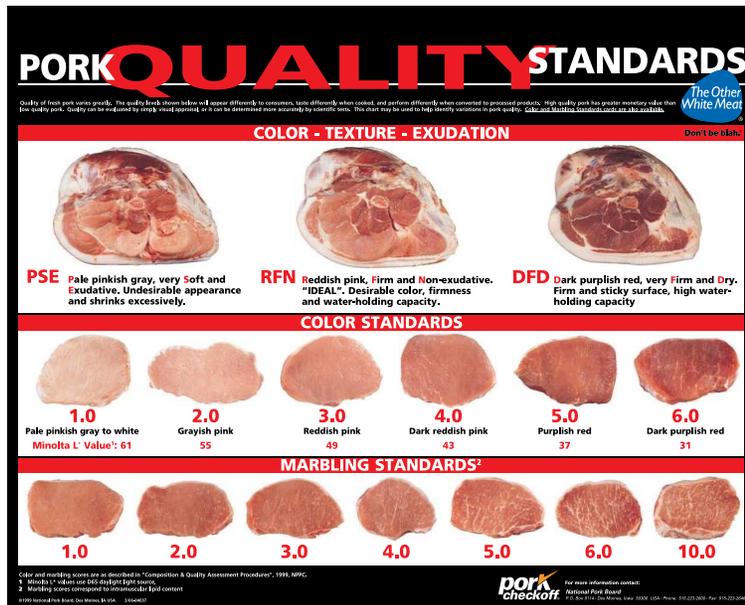


Figura 3. Estándares de NPPC de evaluación de la calidad de carne de cerdo. Fuente: (NPPC, 1999)



Figura 4. Categoría 1 (PSE) del Patrón Canadiense de color (Pork Quality, 1984)



Figura 5. Patrón Japonés para la evaluación del color de la carne de cerdo.
Fuente: (AMSA, 2012)

Debido a que el uso de indicadores de calidad individuales como criterio para dictaminar el defecto PSE resulta arriesgado, por lo general se usa una combinación de métodos subjetivos y objetivos. En este sentido, McKeith y Pringle (2013), encontraron que valores de L^* y pH_{45} , son buenos predictores. Otros autores han segregado la carne PSE con base en mediciones del color y de la capacidad de retención de agua (Joo et al., 1999). En general, tanto las variables empleadas para detectar carne PSE, como los límites de aceptación que se utilizan en diferentes investigaciones, son muy disímiles. Si a esto se suma que no todos los trabajos estudian el mismo músculo, la falta de consenso no es sorprendente.

En las plantas procesadoras mexicanas, el método más utilizado para segregar carne normal y PSE es mediante métodos subjetivos como la evaluación visual de color, por medio de patrones visuales o mediciones de pH. Todo esto con limitaciones importantes, ya que la metodología no se encuentra estandarizada y se realiza en condiciones inadecuadas. Además, el método puede variar de planta en planta. Sin duda, esto dificulta el empleo de un lenguaje común en materia de calidad a escala comercial y con frecuencia genera desacuerdos entre proveedores y clientes.

2. Justificación

Debido a que la mayoría de investigaciones sobre PSE se realizan en el lomo de cerdo, se aplican criterios probados en el m. *longissimus dorsi*, en músculos de la pierna de cerdo. Esto ha causado que se dificulte estandarizar

metodologías que se apliquen en los procesos donde se utilice pierna de cerdo como materia prima. El desarrollo de una metodología rápida, estandarizada y científicamente sustentada para la detección del defecto PSE en piernas de cerdo, promoverá el uso de un lenguaje común a escala nacional en lo relativo a la calidad de las piernas de cerdo que se usan como materia prima por la industria de embutidos y otros procesos. De esta forma, se contribuirá a reducir las pérdidas económicas vinculadas con el uso de carne PSE. Además, puede servir de base para estudios futuros que permitan estimar la incidencia de este defecto en México.

3. Hipótesis

Las medias de los atributos de calidad en carne PSE y normal serán diferentes en al menos uno de los 5 músculos de la pierna incluidos en el estudio. Ello permitirá contar con una metodología específica para detectar la presencia del defecto PSE en piernas de cerdo.

4. Objetivo

Desarrollar una propuesta metodológica para para detectar la presencia del defecto PSE en piernas de cerdo.

5. Objetivos Específicos

- Identificar el/los músculo(s) de la pierna que se puedan utilizar como “diana” para detectar el defecto PSE.
- Identificar las variables que tienen una mayor correlación con el defecto de interés y que sean factibles de aplicar en la línea de proceso.
- Elaborar criterios de aceptación/rechazo de piernas completas y/o músculos individuales aplicables en línea.

6. Materiales y Métodos

6.1 Origen y selección de las muestras

El experimento se realizó en una planta de corte y deshuese de carne de cerdo Tipo Inspección Federal (TIF), que procesa materia prima procedente de Estados Unidos de América, la cual arriba a la planta entre 7 y 9 días después del sacrificio. Se trabajó en la sala de cortes, con una temperatura máxima de 4°C en la carne analizada.

El tamaño de muestra se determinó con ayuda del paquete estadístico SPSS Statistic 17.0 (IBM Company, 2008), asumiendo distribución normal de los datos, un error de 0.05 y una potencia del 95%, con varianza por determinar. Lo anterior dio como resultado un valor de 28 en cada grupo, el cual se redondeó a 30. Así, se trabajó con un total de 60 piernas de cerdo, 30 de calidad normal (Roja-Firme-No Exudativa) y 30 PSE (Pálida-Suave-Exudativa).

La selección de las piernas se realizó en la línea de proceso, después de que se les retirara piel, grasa y hueso y de que fueran clasificadas por la empresa como de calidad normal o PSE. Esto último se realizó con base en observaciones visuales. Todas las piernas que en su cara interna, especialmente en la zona muscular cercana al fémur, tuvieran una apariencia extremadamente pálida y exudativa, fueron clasificadas como PSE. Las que presentaron una coloración rojo-rosada y una apariencia brillante, no exudativa, fueron consideradas como de calidad normal.

6.2 Músculos evaluados

Una vez que las piernas fueron seleccionadas según su calidad, personal entrenado realizó la disección de cada una de ellas, para obtener los siguientes músculos individuales: *m. biceps femoris* (BF), *m. rectus femoris* (RF), *m. semimembranosus* (SM), *m. semitendinosus* (ST) y *m. vastus lateralis* (VL). Cada músculo fue identificado y pesado, además de registrar su temperatura, previo a la realización de las mediciones.

6.3 Análisis instrumental del color

Antes de medir el color, se realizó un corte en la porción media de cada músculo, exponiendo el área recién cortada al ambiente, durante 30 min, para permitir la oxigenación completa de la mioglobina. La porción del músculo que quedó a la derecha del corte se utilizó para la evaluación del color y la izquierda para el resto de los análisis.

El color se midió con un espectrofotómetro Hunter MiniScan EZ modelo 4500 L, con geometría 45/0, ángulo del observador a 10°, área del observador 25 mm, apertura de puerto 31.8 mm, configurado con iluminante D65 y componente especular excluido. La calibración del equipo se realizó antes de iniciar las mediciones y posteriormente, a intervalos de una hora.

Se registró el promedio de tres lecturas por muestra. Los resultados fueron expresados en la escala triestímulo CIELAB (CIE, 1976), obteniendo los valores de L^* (luminosidad), a^* (intensidad de rojo) y b^* (intensidad de amarillo). A partir estas coordenadas se obtuvieron los valores de saturación (C^*), calculado como $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ y tonalidad (h^*), calculado como $\tan^{-1} b^* / a^*$. Además, se calculó la diferencia total de color (ΔE_{ab}^*) entre músculos clasificados como PSE y normal, lo anterior mediante la fórmula ($\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$). Lo anterior con el fin de estimar si la diferencia de color entre músculos PSE y normales es perceptible de manera visual.

6.4 Determinación del pH

Se determinó el pH en la carne de forma directa usando un potenciómetro portátil de penetración (Marca HANNA modelo HI 9916) calibrado con soluciones amortiguadoras a pH 7 y 4. Se registró el promedio de 2 lecturas por muestra.

6.5 Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)

Se utilizó el método de compresión de Grau-Hamm con papel de filtro (Grau y Hamm, 1953) , modificado por Hofmann et al. (1982). Para ello, se tomó una porción de carne, sin grasa y sin tejido conectivo, de cada músculo. De ésta, se pesó 1 g en balanza técnica (sensibilidad ± 0.1 g), por duplicado y se colocó dentro de un papel de filtro No. 54, de la marca Whatman, de 110 mm de diámetro. El papel con la muestra se colocó entre dos placas de policarbonato, encima de las cuales se colocó un peso de 2.045 kg durante 5 min. Transcurrido ese tiempo, el papel se retiró de las placas de policarbonato y, con ayuda de un plumón, se dibujó el contorno de la carne aplanada sobre el papel, así como del área humedecida por el agua expulsada de la muestra. Posteriormente, con la ayuda de un planímetro digital, se calculó el área de la carne aplanada (M) y del agua expulsada (T). La CRA se calculó como la relación (M/T), expresada como porcentaje.

6.6 Análisis Estadístico

Los datos se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS Statistic 17.0 (IBM Company, 2008). Se realizó un análisis de varianza, con el fin de evaluar si la preclasificación por calidad tenía efecto significativo en las variables estudiadas. Posteriormente, se utilizó una prueba de hipótesis, mediante el estadístico t de student y asumiendo varianzas no iguales, para determinar si las medias de los músculos provenientes de piernas de calidad Normal diferían de los provenientes de piernas PSE. Lo anterior con el fin de identificar los músculos donde el defecto PSE se manifiesta de forma más intensa. Por último, se realizó la estadística descriptiva y se calcularon los intervalos de confianza de la media al 95% para los atributos de calidad, para cada músculo individual proveniente de piernas normales y PSE, respectivamente.

7. Resultados

7.1. Efecto de la clasificación por calidad en las variables estudiadas

El análisis de varianza evidenció que la clasificación por calidad tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) en las variables analizadas. El Cuadro 6 presenta la información obtenida de los grupos Normal y PSE, donde se aprecia que los músculos PSE tienen valores de pH más bajos, una apariencia más pálida (mayor L^*) así como una CRA inferior. Debido a que la tonalidad (h^*) no mostró variación entre los grupos de calidad, esta variable no fue considerada en los análisis posteriores.

Cuadro 6. Medias \pm desviación estándar de los atributos de calidad estudiados en carne Normal y PSE

Atributo	Calidad		P
	Normal	PSE	
pH _u	5.8 \pm 0.3	5.6 \pm 0.2	<0.0001
L^*	47.7 \pm 5.2	51.3 \pm 5.6	<0.0001
a^*	9.5 \pm 2.2	10.7 \pm 2.3	<0.0001
b^*	14.1 \pm 2.0	15.8 \pm 2.3	<0.0001
C^*	10.3 \pm 2.1	12.6 \pm 3.8	<0.0001
h^*	56.1 \pm 7.1	55.9 \pm 6.3	0.7720
CRA %	48.7 \pm 12.7	34.0 \pm 11.8	<0.0001

7.2. Diferencias en los atributos de calidad de músculos provenientes de piernas PSE y normales

7.2.1 pH

Los músculos provenientes de piernas PSE tuvieron un pH significativamente inferior ($P < 0.05$) que aquellos provenientes de piernas de calidad normal (Cuadro 7). El comportamiento fue similar en todos los músculos,

pues el límite inferior de confianza al 95% de la diferencia entre las medias PSE y normal estuvo en el orden de 0.1 y 0.2 unidades.

Cuadro 7. Prueba de hipótesis (t de student) relativa a la diferencia entre las medias del pH en músculos de calidad normal (n=30) y PSE (n=30)

Músculo	Calidad de la carne		t	P	Dif. entre medias ¹
	Normal	PSE			
<i>Biceps femoris</i>	5.7±0.2	5.5±0.1	4.08	<0.0001	0.07-0.20
<i>Rectus femoris</i>	6.0±0.3	5.8±0.2	3.12	0.0021	0.10-0.19
<i>Semimembranosus</i>	5.8±0.2	5.6±0.1	4.68	<0.0001	0.07-0.19
<i>Semitendinosus</i>	5.9±0.2	5.6±0.1	5.56	<0.0001	0.08-0.26
<i>Vastus lateralis</i>	5.9±0.3	5.6±0.1	4.38	<0.0001	0.09-0.24

¹Intervalo del límite inferior de confianza al 95.0% para la diferencia entre medias. La hipótesis alterna asume que la media de la carne normal es mayor que la de la carne PSE.

7.2.2 Variables instrumentales del color

En general, las variables del color mostraron también un buen poder discriminatorio entre carne PSE y normal en casi todos los músculos estudiados (Cuadro 8). Esto no fue cierto en el caso del *m. rectus femoris*, donde la luminosidad (L*) fue similar (P>0.05) en ambos grupos de calidad. De igual forma, en los músculos *semitendinosus* y *vastus lateralis* las diferencias en la intensidad de rojo entre carne PSE y normal fueron despreciables.

Como se mencionó antes, a excepción del *m. rectus femoris*, L* fue la variable que tuvo las diferencias más grandes, entre 1 y 2 unidades superiores a las observadas para las medias de a*, b* y C*.

Cuadro 8. Prueba de hipótesis (t de student) relativa a la diferencia entre las medias de las variables de color en músculos de calidad normal y PSE (n=30)

Músculo		Calidad de la carne		t	P	Dif. entre medias ¹
		Normal	PSE			
<i>biceps femoris</i>	L*	47.4±3.5	52.3±3.3	-5.6	<0.0001	-6.7,-3.1
	a*	9.6±1.4	11.1±1.8	-3.6	0.0006	-2.3,-0.7
	b*	13.8±1.3	16.5±1.6	-7.0	<0.0001	-3.4,-1.9
	C*	10.3±1.3	13.0±4.1	-3.5	0.0012	-4.3,-1.1
<i>rectus femoris</i>	L*	44.5±3.1	45.9±4.5	-1.4	0.1665	-3.4,0.6
	a*	8.6±1.2	10.1±1.8	-4.0	0.0002	-2.3,-0.8
	b*	12.1±1.4	13.0±1.8	-2.2	0.0292	-0.8,-0.1
	C*	9.3±1.1	11.5±2.6	-4.3	0.0001	-3.3,-1.2
<i>semimembranosus</i>	L*	51.0±3.7	54.7±3.1	-4.2	<0.0001	-5.4,-1.9
	a*	7.9±1.2	9.1±1.9	-3.1	0.0034	-2.1,-0.4
	b*	14.8 ±1.3	16.2 ±1.4	-4.3	<0.0001	-2.2,-0.8
	C*	8.8±1.1	11.3±4.0	-3.3	0.0022	-4.0,-1.0
<i>semitendinosus</i>	L*	52.5±4.9	56.6±4.0	-3.6	0.0007	-6.4,-1.8
	a*	9.9±2.8	10.7±2.0	-1.2	0.2168	-2.0,0.5
	b*	16.4±1.4	17.9±1.2	-4.4	<0.0001	-2.2,-0.8
	C*	10.7±2.5	12.9±4.1	-2.4	0.0215	-3.9,-0.3
<i>vastus lateralis</i>	L*	43.2±3.5	46.9±3.6	-4.0	0.0001	-5.5,-1.9
	a*	11.6±2.0	12.5±1.8	-1.8	0.0756	-1.9,0.1
	b*	13.4±1.3	15.2±1.7	-4.6	<0.0001	-2.6,-1.0
	C*	12.2±1.9	14.2±3.5	-2.7	0.0087	-3.4,-0.5

¹Intervalo de confianza al 95.0% para la diferencia entre medias. La hipótesis alterna asume que las medias de carne PSE y normal son diferentes.

Por otra parte, las diferencias totales de color (Cuadro 9) estuvieron por encima de las 4 unidades CIELAB en todos músculos, a excepción del *m. rectus femoris* donde apenas se rebasaron las 2 unidades CIELAB.

Cuadro 9. Diferencia total de color (ΔE^*_{ab}) entre músculos de la pierna de cerdo de calidad normal y PSE

Músculo	ΔE^*_{ab}
<i>biceps femoris</i>	5.8
<i>rectus femoris</i>	2.2
<i>semimembranosus</i>	4.2
<i>semitendinosus</i>	4.4
<i>vastus lateralis</i>	4.2

7.2.3 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua fue la variable que mejor describió las diferencias entre carne normal y PSE, las cuales fueron altamente significativas en todos los músculos estudiados (Cuadro 10). La magnitud de las diferencias entre las medias de carne PSE y normal varió entre aproximadamente 5 y 22 unidades.

Cuadro 10. Prueba de hipótesis (t de student) relativa a la diferencia entre las medias de la CRA (%) en 30 músculos de calidad normal y 30 músculos PSE

Músculo	Calidad de la carne		t	P	Dif. entre medias ¹
	Normal	PSE			
<i>Biceps femoris</i>	46.7±16.2	31.8±8.1	4.5	<0.0001	5.6-14.9
<i>Rectus femoris</i>	59.1±10.8	36.8±16.8	6.1	<0.0001	6.1-22.2
<i>Semimembranosus</i>	45.3±12.5	31.6±10.6	4.6	<0.0001	5.0-13.7
<i>Semitendinosus</i>	46.6±13.2	30.4±8.4	5.7	<0.0001	4.7-16.2
<i>Vastus lateralis</i>	48.9±13.8	33.1±10.7	4.9	<0.0001	5.3-15.8

¹Intervalo del límite inferior de confianza al 95.0% para la diferencia entre medias

7.3 Estimación por intervalos de confianza de la media de los atributos de calidad en carne normal y PSE

En el Cuadro 11 se presentan los valores promedios que se pueden esperar en los atributos de calidad de músculos provenientes de carne de cerdo normal y PSE.

Cuadro 11. Intervalos de confianza de la media al 95% para pH, color y CRA en carne de calidad normal (n=30) y PSE (n=30)

Atributo	Calidad	<i>Músculos</i>				
		<i>biceps femoris</i>	<i>rectus femoris</i>	<i>semimembranosus</i>	<i>semitendinosus</i>	<i>vastus lateralis</i>
pH _u	Normal	5.7-5.8	5.9-6.1	5.7-5.8	5.8-5.9	5.78-5.98
	PSE	5.5-5.6	5.7-5.9	5.5-5.6	5.5-5.7	5.6-5.7
L*	Normal	46.1-48.7	43.4-45.7	49.6-52.4	50.6-54.3	41.9-44.5
	PSE	51.1-53.6	44.1-47.6	53.6-55.9	55.1-58.1	45.5-48.2
a*	Normal	9.0-10.3	8.1-9.0	7.4-8.3	8.8-10.9	10.9-12.40
	PSE	10.4-11.7	9.4-10.7	8.40-9.80	9.9-11.4	11.9-13.20
b*	Normal	13.4-14.4	11.6-12.6	14.3-15.2	15.9-17	12.9-13.9
	PSE	15.9-17.1	12.3-13.6	15.7-16.8	17.5-18.4	14.6-15.9
C*	Normal	9.8-10.8	8.9-9.6	8.3-9.1	9.8-11.7	11.5-12.9
	PSE	11.5-14.5	10.4-12.5	9.8-12.7	11.3-14.4	12.9-15.5
CRA (%)	Normal	40.9-47.8	55.0-62.4	41.0-49.4	41.8-51.1	44.4-53.2
	PSE	29.1-35.1	33.9-46.5	28.8-36.5	27.6-32.5	30.1-39.5

Los intervalos de confianza de la media al 95 % que se presentaron en las variables carne PSE fueron inferiores a los normales. El pH_u, L* y CRA en los músculos bíceps femoris, semitendinosus y semimembranosus de 5.5-5.7, 55.1-58.1, 29-35.1 respectivamente. En los músculos rectus femoris y vastus lateralis los valores fueron menores alcanzando valores de 5.6-5.9, 44.1-48.2 y 30.1-46.5 respectivamente.

8. Discusión

En sentido general, todas las variables que se midieron en el presente trabajo permitieron diferenciar la carne normal de la PSE, con excepción de la

tonalidad (h^*). Esto último obedece a que el componente cromático amarillo (b^*) fue superior al rojo (a^*) en ambos grupos de calidad (ver cuadro 6). Por esta razón, la tonalidad ($h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$) fue semejante en carne normal y PSE.

En el caso del pH, aunque en todos los músculos la carne PSE presentó valores más bajos que la carne normal, éstos se encuentran dentro del intervalo característico de carne de calidad normal (5.5-5.9). Lo anterior obedece a que en esta investigación se utilizó carne con entre 8 y 9 días *post mortem*. Por tanto, la actividad microbiana y los procesos autolíticos que tienen lugar en el músculo pudieron hacer que el pH subiera ligeramente, hasta alcanzar valores típicos de carne de calidad normal.

En cualquier caso, la detección oportuna del defecto PSE a través del pH, requiere que éste sea medido a los 45 minutos *post mortem*, pues el fenómeno está condicionado principalmente por una caída brusca de esta variable después del sacrificio. La medición a los 8 o 9 días *post mortem* no informa sobre la velocidad de disminución del pH. Por tanto, el uso del pH final en condiciones industriales para segregar carne PSE solamente sería de utilidad para confirmar la tendencia mostrada por otras mediciones, como color y CRA. Cabe indicar que en este trabajo se midió el pH final, debido a que las piernas de cerdo que se reciben en muchas plantas procesadoras mexicanas arriban entre 5 y 9 días *post mortem*.

En general, los resultados muestran que CRA y L^* , por ese orden, fueron las que tuvieron un mayor poder discriminatorio. Excepto en el *rectus femoris* y en el *vastus lateralis*, el intervalo de confianza de la media para la CRA en muestras PSE se mantuvo en valores iguales o inferiores a 36%, que son típicos de carne exudativa (Tomovic et al., 2014). Esto evidencia el poder discriminatorio de la CRA, medida por el método de compresión, para diferenciar carne normal y PSE. La contundencia de los resultados sugiere que esta variable podría ser utilizada en solitario para detectar la carne defectuosa. No obstante, esto tendría que validarse en estudios posteriores.

En investigaciones previas se ha observado que L^* , entre las variables instrumentales del color, es la que ha mostrado una mejor correlación con la apariencia visual de la carne (Brewer et al., 2001, Warriss et al., 2006). Además,

varios autores han reportado la conveniencia de usar L* y CRA para detectar el defecto PSE (Joo et al., 1999, van Laack and Kauffman, 1999, Lesiów and Xiong, 2013). Lo anterior coincide con lo observado en el presente trabajo, donde la eficiencia discriminatoria de CRA y L* fue superior al de otras variables. Ello sugiere que ambas podrían ser utilizadas para definir la condición PSE en músculos de la pierna, sobre todo cuando se disponga de un equipo para medir el color.

Los resultados aquí obtenidos difieren de los observados en *m. longissimus thoracis et lumborum*. Por ejemplo, en el caso de L*, los valores reportados para el lomo se encuentran por encima de 58-60 unidades (Juzl et al., 2013, McDonagh et al., 2005, Maldonado, 2015); mientras que en este estudio los músculos *rectus femoris* y *vastus lateralis* tuvieron valores por debajo de 50 unidades. Ello a pesar de que las piernas de donde fueron extraídos manifestaban el defecto PSE. Cabe añadir que los otros tres músculos estudiados tampoco alcanzaron valores de L* cercanos a los reportados en muestras de lomo PSE.

Este comportamiento confirma lo inapropiado de aplicar, a los músculos de la pierna, criterios para definir PSE a partir de valores observados en el lomo, un músculo que tiene predominantemente las denominadas fibras “blancas” (de tipo IIB), con metabolismo glicolítico, por lo que es predisponente a desarrollar PSE y en general tiende a presentar valores de L* más elevados (Warner et al., 1993, Tomovic et al., 2014).

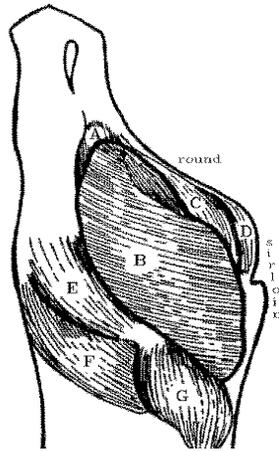
Entre los músculos estudiados, aquellos que tienen mayor porcentaje de fibras tipo IIB fueron los que presentaron valores más cercanos a los descritos previamente en lomo PSE. Tal es el caso del *m. biceps femoris*, donde el porcentaje de fibras tipo IIB puede llegar al 69; mientras que en el *m. semimembranosus* y *semitendinosus* este valor sube a 87 y 94.7, respectivamente. En contraste, el *m. rectus femoris* y el *m. vastus lateralis* el porcentaje de fibras tipo IIB es de apenas 54% (Karlsson et al., 1993, Christensen et al., 2004), lo que puede causar que en estos músculos el defecto PSE se manifieste en menor medida. Por tanto, estos dos músculos no deben emplearse para dictaminar la calidad de las piernas que se destinan a la elaboración de

embutidos, sobre todo si la calidad de la carne será dictaminada con base en el color.

Con respecto a la viabilidad técnica para realizar las mediciones a escala industrial, la determinación de CRA por el método de compresión demostró ser una prueba eficiente y fácil de aplicar. Además, su costo es mucho menor en comparación con otros métodos para medir la CRA. Por ejemplo, con esta prueba no es necesario retener un lote por días, como en el método basado en el porcentaje de pérdidas por goteo. Este último, aunque es muy utilizado, necesita por lo menos de 48 h para su determinación (Joo et al., 1999), por lo que su uso suele limitarse al ámbito de la investigación. Otras técnicas también pueden tener éxito, pero implican el uso de materiales e instrumentos difícilmente disponibles en plantas de proceso.

Aunque en este trabajo el color, especialmente los valores de L^* , también permitieron segregar la carne PSE, su medición requiere contar con un equipamiento costoso (colorímetros o espectrofotómetros) y, por tanto, de uso muy limitado a escala industrial. Además, la diferencia total del color fue considerablemente alta en todos los músculos, excepto en el *rectus femoris*, lo que indica que la percepción del defecto a simple vista es relativamente fácil. Por tanto, en donde no se disponga de un equipo para medir el color, se podría realizar una preselección visual de las piernas con apariencia PSE y posteriormente corroborarlo con una medición rápida de CRA.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se puede sugerir utilizar los *m. biceps femoris*, *m. semimembranosus* y *m. semitendinosus* como músculos diana para dictaminar la presencia del defecto PSE en piernas destinadas a la elaboración de embutidos. Lo anterior debido a que los tres músculos presentaron diferencias marcadas entre carne normal y PSE para las variables estudiadas. No obstante, el más accesible anatómicamente es el *biceps femoris* (Figura 6), del cual se puede obtener una muestra sin necesidad de realizar disección alguna. Además, es de los más grandes de la pierna, de modo que su empleo como músculo diana podría facilitar operativamente la detección oportuna del defecto PSE.



- B = biceps femoris,*
- C = semitendinosus,*
- D = semimembranosus,*
- E = vastus lateralis,*
- F = tensor fascia lata, and*
- G = gluteus medius*

(Imagen tomada de: http://www.aps.uoguelph.ca/~swatland/ch4_1.htm)

Figura 6. Posición de los músculos biceps femoris (BF), rectus femoris (RF) y vastus lateralis (VL) en la pierna del cerdo

Los otros músculos, aunque también manifiestan claramente el defecto PSE, son más difíciles de obtener. Por ejemplo, el *semitendinosus* es mucho más pequeño; mientras que para sacar una muestra del *semimembranosus* es preciso diseccionar gran parte de la pierna (Figura 7), ya que éste se encuentra por la cara interior, junto al *adductor*, lo que puede dificultar su identificación por parte del personal de la industria.

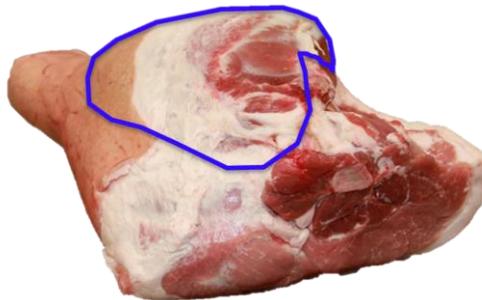


Figura 7. Porción de la pierna de cerdo que habría que separar para obtener una muestra del músculo semimembranosus

(Fuente: <http://aggiemeat.tamu.edu/files/2012/11/Pork-Top-Roast-Hints.pdf>)

Esto puede ser una desventaja para la detección de PSE a escala industrial, pues la obtención de músculos individuales supone una caída en la productividad, por el tiempo que habría que dedicar a estas tareas, lo que resulta indeseable. No obstante, en aquellos establecimientos donde se realice la disección completa de las piernas, cualquiera de los tres músculos antes referidos puede servir para estos fines.

En otro orden de cosas, se debe recordar que el presente estudio se realizó con piernas pre-seleccionadas, de acuerdo con criterios establecidos por el establecimiento en donde se llevó a cabo la investigación. Aunque aparentemente esta metodología parece funcionar, conviene señalar que no se trata de una técnica estandarizada y con rigor científico que se pueda aplicar en cualquier establecimiento. Para ello, se deben considerar aspectos como la iluminación, la temperatura y el tiempo de oxigenación de la carne, así como el entrenamiento de los operarios responsables de la pre-selección por métodos visuales. En este sentido, lo más recomendable es seguir los lineamientos de la Asociación Americana de Ciencia de la Carne para la evaluación visual del color (AMSA, 2012). En esta guía, se propone usar iluminación incandescente, a una intensidad de 100 a 200 candelas, trabajar con carne a una temperatura no mayor a 3-4 °C, la cual debe oxigenarse por no menos de 30 min antes de realizar la evaluación. Para esto último, se recomienda usar patrones visuales de color que permitan optimizar la preselección y, de esa forma, asegurar mayor éxito. En carne de cerdo varios países han desarrollado patrones visuales, como el canadiense (Pork Quality, 1984), el norteamericano (NPPC, 1999) y el japonés (Nakai et al., 1975).

En resumen, los resultados demuestran la conveniencia de contar con un método específico para detectar la presencia del defecto PSE en los músculos de la pierna, pues los atributos de calidad del lomo son muy diferentes. Además, aunque el defecto se manifiesta en prácticamente todos los músculos estudiados, se recomienda usar de preferencia el *m. biceps femoris*, por ser el de más fácil acceso. Asimismo, el empleo del *m. rectus femoris* y del *m. vastus lateralis* es menos aconsejable, ya que en estos la presentación del fenómeno PSE es menos

evidente. Por último, en este trabajo se presentan intervalos de confianza de la media del color instrumental y de la CRA, que pueden servir como criterios establecidos de aceptación/rechazo en piernas completas y/o músculos individuales para diferenciar carne normal y PSE. Sin embargo, dada la relativa facilidad con que se aprecia el defecto a simple vista, según se comprobó con los valores de ΔE^*_{ab} , la preselección visual de las piernas (bajo condiciones estandarizadas) en conjunto con una determinación rápida de CRA por el método de compresión, podría funcionar como un método económico y factible de aplicar a escala industrial. No obstante, la efectividad de tal método se tendría que validar en estudios posteriores.

9. Conclusiones

En la presente investigación se propone una metodología específica para detectar el defecto PSE en piernas de cerdo. Ésta se basa en la combinación de la evaluación del color (visual o instrumental), con la capacidad de retención de agua, medida por el método de compresión. Aunque la propuesta demostró funcionar en condiciones experimentales, se debe validar a escala industrial, debido a que se trabajó con carne previamente clasificada.

10. Referencias

- ALARCON-ROJO, A. D., ZAPATA, I., SOLIS, F. J., LARA, I., BURROLA, E., CORDOBA, L. & JANACUA-VIDALES, H. 2008. Microstructure of porcine meat with the Rendement Napole gene. *Animal Science Papers and Reports*, 26, 259-267.
- ALARCÓN, A. D., DUARTE ATONDO, J. O., RODRÍGUEZ ALMEIDA, F. A. & JANACUA VIDALES, H. 2005. Incidencia de carne pálida-suave-exudatova (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 43, 335-346.
- ALARCÓN ROJO, A. D., PÉREZ LINARES, C., GARCÍA MACIAS, J. A. & JANACUA VIDALES, H. 2007. Propiedades físico-químicas de jamones

elaborados con carne pálida, suave y exudativa de cerdo. *Tecnociencia Chihuahua*, 1, 17-25.

AMSA. 2012. Meat Color Measurement Guidelines. Available: <http://www.meatscience.org>

- ANDRÉS, A. I., CAVA, R., MAYORAL, A. I., TEJEDA, J. F., MORCUENDE, D. & RUIZ, J. 2001. Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of muscle fibre. *Meat Science*, 59, 39-47.
- BARBUT, S., SOSNICKI, A. A., LONERGAN, S. M., KNAPP, T., CIOBANU, D. C., GATCLIFFE, L. J., HUFF-LONERGAN, E. & WILSON, E. W. 2008. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science*, 79, 46-63.
- BOLER, D. D., DILGER, A. C., BIDNER, B. S., CARR, S. N., EGGERT, J. M., DAY, J. W., ELLIS, M., MCKEITH, F. K. & KILLEFER, J. 2010. Ultimate pH explain variation in pork quality traits *Journal of Muscle Foods*, 21, 119-130.
- BRAÑA VARELA, D., RAMÍREZ RODRÍGUEZ, E., RUBIO LOZANO, M. D. L. S., SÁNCHEZ ESCALANTE, A., ARENAS DE MORENO., M. L., PARTIDA DE LA PEÑA, J. A., PONCE ALQUICIRA, E. & RÍOS RINCÓN, F. G. 2011. *Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne*, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal.
- BREWER, M. S., ZHU, L. G., BIDNER, B., MEISINGER, D. J. & MCKEITH, F. K. 2001. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science*, 57, 169-176.
- CASSELL, J. F., DYSON, S., REISER, P. D. & TROUT, J. R. 1991. Unlocking the secrets for pork quality. *CSIRO Report on Research*, 79.
- CASTRILLÓN, W. E., FERNÁNDEZ, J. A. & RESTREPO, B. 2005. Determinación de carne PSE (Pálida, Suave y Exudativa) en canales de cerdo. *Tecnología e ingeniería de alimentos*, 12, 23-28.
- CASTRO-GIRÁLDEZ, M., FITO, P. J., TOLDRÁ, F. & FITO, P. 2010. Use of visible spectroscopy to assess colour development during ageing of fresh pork from different quality classes. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 1710-1716.
- CIE 1976. Commission Internationale de l'Eclairage. .
- CIOBANU, D., BASTIAANSEN, J., MALEK, M., HELM, J., WOOLLARD, J., PLASTOW, G. & ROTHSCCHILD, M. 2001. Evidence for new alleles in the protein kinase adenosine monophosphate-activated gamma(3)-subunit gene

associated with low glycogen content in pig skeletal muscle and improved meat quality. *Genetics*, 159, 1151-1162.

- COPENHAFER, T. L., RICHERT, B. T., SCHINCKEL, A. P., GRANT, A. L. & GERRARD, D. E. 2006. Augmented postmortem glycolysis does not occur early postmortem in AMPK γ 3-mutated porcine muscle of halothane positive pigs. *Meat Science*, 73, 590-599.
- CHANNON, H. A., PAYNE, A. M. & WARNER, R. D. 2000. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Science*, 56, 291-299.
- CHEAH, K. S., CHEAH, A. M. & JUST, A. 1998. Identification and characterization of pigs prone to producing „RSE“ (reddish-pink, soft and exudative) meat in normal pigs. *Meat Science*, 48, 249-255.
- CHEFTEL, J. C., CHEFTEL, H. & BESANCON, P. 1988. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, Acribia.
- CHMIEL, M., SLOWINSKI, M. & DASIEWICZ, K. 2011. Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat. *Meat Science*, 88, 566-570.
- CHOE, J. H., CHOI, Y. M., LEE, S. H., SHIN, H. G., RYU, Y. C., HONG, K. C. & KIM, B. C. 2008. The relation between glycogen, lactate content and muscle fiber type composition, and their influence on postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat Science*, 80, 355-362.
- CHOI, Y. M. & KIM, B. C. 2009. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science*, 122, 105-118.
- CHRISTENSEN, M., HENCKEL, P. & PURSLOW, P. P. 2004. Effect of muscle type on the rate of post-mortem proteolysis in pigs. *Meat Science*, 66, 595-601.
- DAVALOS-ARANDA, G., MALDONADO-MENA, R., GARZA-ZERMENO, M. V., CEDILLO-ROSALES, S., GALAN-ALEJO, L. C. & RIOJAS-VALDES, V. M. 2010. Association among Ryanodyn Receptor and Insulin-Like Growth Factor Genes with Production Traits in a Commercial Type Swine Population from Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, 639-642.
- ENFALT, A. C., LUNDSTROM, K., KARLSSON, A. & HANSSON, I. 1997. Estimated frequency of the RN- allele in Swedish Hampshire pigs and comparison of glycolytic potential, carcass composition, and technological meat quality among Swedish Hampshire, Landrace, and Yorkshire pigs. *Journal of Animal Science*, 75, 2924-2935.

- FERNANDEZ, X., FORSLID, A. & TORNBERG, E. 1994. The effect of high post-mortem temperature on the development of pale, soft and exudative pork: Interaction with ultimate pH. *Meat Science*, 37, 133-147.
- FERNANDEZ, X., GILBERT, S. & VENDEUVRE, J. L. 2002. Effects of halothane genotype and pre-slaughter treatment on pig meat quality. Part 2. Physico-chemical traits of cured-cooked ham and sensory traits of cured-cooked and dry-cured hams. *Meat Science*, 62, 439-446.
- FLORES, M. & TOLDRA, F. 2014. Optimization of Muscle Enzyme Colorimetric Tests for Rapid Detection of Exudative Pork Meats. *Food Analytical Methods*, 7, 1903-1907.
- GAJANA, C. S., NKUKWANA, T. T., MARUME, U. & MUCHENJE, V. 2013. Effects of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale soft exudative (PSE) and the physico-chemical characteristics of pork. *Meat Science*, 95, 520-525.
- GARIÉPY, C., RIENDEAU, L. & PETTIGREW, D. Assessment of Ham Quality. Record of Proceedings National Swine Improvement Federation Conference and Annual Meeting, 1996 Ottawa, Ontario, Canada. National Swine Improvement Federation.
- GOLDING-MYERS, J. D., SHOWERS, C. D., SHAND, P. J. & ROSSER, B. W. C. 2010. Muscle fiber type and the occurrence of pale, soft, exudative pork. *Journal of Muscle Foods*, 21, 484-498.
- GRAU, R. & HAMM, R. 1953. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Muskel. *Naturwissenschaften* 40, 29.
- GUISE, H. J. 1987. Transport review; moving pigs from farm to factory. *Pig International*, 12, 8-16.
- HENCKEL, P., OKSBJERG, N., ERLANDSEN, E., BARTON-GADE, P. & BEJERHOLM, C. 1997. Histo- and biochemical characteristics of the Longissimus dorsi muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality. *Meat Science*, 47, 311-321.
- HOFMANN, K., HAMM, R. & BLTICHEL, E. 1982. Neues über die Bestimmung der Wasserbindung des Fleisches mit Hilfe der Filterpapiermethode. *Fleischwirtsch* 62, 87-92.
- HUFF-LONERGAN, E. & LONERGAN, S. M. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71, 194-204.

- JOO, S. T., KAUFFMAN, R. G., KIM, B. C. & PARK, G. B. 1999. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle. *Meat Science*, 52, 291-297.
- JUZL, M., SULCEROVA, H., GREGOR, T., URBAN, T., SLAMA, P., CHALUPOVA, P., SEDLACKOVA, T., KAPLANOVA, K. & WEISZ, F. 2013. Relationship between colour and other meat quality traits of the Czech large White pigs. *Maso*, 24, 43-46.
- KARLSSON, A., ENFÄLT, A. C., ESSÉN-GUSTAVSSON, B., LUNDSTRÖM, K., RYDHMER, L. & STERN, S. 1993. Muscle histochemical and biochemical properties in relation to meat quality during selection for increased lean tissue growth rate in pigs. *Journal of animal science*, 71, 930-938.
- KARLSSON, A. H., KLONT, R. E. & FERNANDEZ, X. 1999. Skeletal muscle fibres as factor for pork quality. *Livestock Production Science*, 60, 255-269.
- KAUFFMAN, R. G., CASSENS, R. G., SCHERER, A. & MEEKER, D. L. 1992. Variations in pork quality: History, definition, extent, and resolution. . *Des Niubes, IA: National Pork Producers Council*.
- KAUFFMAN, R. G., EIKELENBOOM, G., VAN DER WAL, P. G., ENGEL, B. & ZAAR, M. 1986a. A comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle. *Meat Science*, 18, 307-322.
- KAUFFMAN, R. G., EIKELENBOOM, G., VANDERWAL, P. G., MERKUS, G. & ZAAR, M. 1986b. The use of filter-Paper to estimate drip loss of porcine musculature. *Meat Science*, 18, 191-200.
- KLONT, R. E., BROCKS, L. & EIKELENBOOM, G. 1998. Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, 49, Supplement 1, S219-S229.
- KOCWIN-PODSIADLA, M., KRZECIO, E. & PRZYBYLSKI, W. 2006. Pork quality and methods of its evaluation - A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 15, 241-248.
- LAWRIE, R. A. 1977. *Ciencia de la Carne*, Zaragoza (España), Ed. Acribia.
- LEE, S. H., JOO, S. T. & RYU, Y. C. 2010. Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality. *Meat Science*, 86, 166-170.
- LESIÓW, T. & XIONG, Y. L. 2013. A simple, reliable and reproductive method to obtain experimental pale, soft and exudative (PSE) pork. *Meat Science*.
- LIEN, R., HUNT, M. C., ANDERSON, S., KROPF, D. H., LOUGHIN, T. M., DIKEMAN, M. E. & VELAZCO, J. 2002. Effects of Endpoint temperature on the internal color of pork loin chops of different quality. *Journal of Food Science*, 67, 1007-1010.

- LUERCE, T. D., GALLI, V., CERQUEIRA, G. M., SIMIONATTO, S. & DELLAGOSTIN, O. A. 2009. An improved method for characterization of the mutation associated to porcine stress syndrome by PCR amplification followed by restriction analysis. *Ciencia Rural*, 39, 1577-1580.
- MALDONADO, D. 2015. *Desarrollo de un patón para la evaluación del color de la carne de cerdo en México*. Maestría en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MARTÍNEZ-QUINTANA, J. A., ALARCÓN-ROJO, A. D., ORTEGA-GUTIÉRREZ, J. A. & JANACUA-VIDALES, H. 2006. Incidencia de los genes halotano y rendimiento napole y su efecto en la calidad de la carne de cerdo *Universidad y Ciencia*, 22, 131-139.
- MCDONAGH, C., TROY, D. J., KERRY, J. P. & MULLEN, A. M. 2005. Relationship between the subjective and objective assessment of pork M. semimembranosus and classification of further processed pork quality. *Food Science and Technology International*, 11, 149-154.
- MCKEITH, R. O. & PRINGLE, T. D. 2013. Quality attributes and color characteristics in three-piece boneless hams. *Meat Science*, 94, 59-63.
- MILAN, D., JEON, J.-T., LOOFT, C., AMARGER, V., ROBIC, A., THELANDER, M., ROGEL-GAILLARD, C., PAUL, S., IANNUCELLI, N., RASK, L., RONNE, H., LUNDSTRÖM, K., REINSCH, N., GELLIN, J., KALM, E., ROY, P. L., CHARDON, P. & ANDERSSON, L. 2000. A Mutation in PRKAG3 Associated with Excess Glycogen Content in Pig Skeletal Muscle. *Science*, 288, 1248-1251.
- MILLER, K. D., ELLIS, M., MCKEITH, F. K., BIDNER, B. S. & MEISINGER, D. J. 2000. Frequency of the rendement napole RN- allele in a population of American Hampshire pigs. *Journal of Animal Science*, 78, 1811-1815.
- MOTA-ROJAS, D., BECERRIL-HERRERA, M., ROLDAN-SANTIAGO, P., ALONSO-SPILSBURY, M., FLORES-PEINADO, S., RAMÍREZ-NECOECHEA, R., RAMÍREZ-TELLES, J. A., MORA-MEDINA, P., PÉREZ, M., MOLINA, E., SONÍ, E. & TRUJILLO-ORTEGA, M. E. 2012. Effects of long distance transportation and CO2 stunning on critical blood values in pigs. *Meat Science*, 90, 893-898.
- MOTA-ROJAS, D., BECERRIL, M., LEMUS, C., SÁNCHEZ, P., GONZÁLEZ, M., OLMOS, S. A., RAMÍREZ, R. & ALONSO-SPILSBURY, M. 2006. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Science*, 73, 404-412.
- MOTA, D., HUERTAS, S. M., GUERRERO, I. & TRUJILLO, M. E. 2012. *Bienestar Animal. Productividad y calidad de la carne*, México, D.F., Elsevier.

- MOTZER, E. A., CARPENTER, J. A., REYNOLDS, A. E. & LYON, C. E. 1998. Quality of Restructured Hams Manufactured with PSE Pork as Affected by Water Binders. *Journal of Food Science*, 63, 1007-1011.
- MURRAY, A. C. 2000. Reducing Losses from Farm Gate to Packer. *Advances in Pork Production*, 11, 175-180.
- NAKAI, H., I., S. F., KEDA, T., ANSO, S. & KOMATSU, A. 1975. *Standard models of pork colour* Chiba Japan.
- NGO, H. P., GODFRAIND, C., POIREL, M. T. & FRANCK, M. 2009. The Type IIB Fibers and the Vascular Network are the Tissue Responsible of the PSE Expression in the Muscle Semimembranosus and Longissimus Dorsi in Pork. *Research Journal of Animal Sciences*, 3, 23-25.
- NPPC 1999. *Pork quality standards. Nacional Producers Council publication, Des Moines, IA.*
- O'BRIEN, P. J., SHEN, H., CORY, C. R. & ZHANG, X. 1993. Use of a DNA-based test for the mutation associated with porcine stress syndrome (Malignant Hyperthermia) in 10,000 breeding swine. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 203, 842-851.
- O'NEILL, D. J., LYNCH, P. B., TROY, D. J., BUCKLEY, D. J. & KERRY, J. P. 2003a. Effects of PSE on the quality of cooked hams. *Meat Science*, 64, 113-118.
- O'NEILL, D. J., LYNCH, P. B., TROY, D. J., BUCKLEY, D. J. & KERRY, J. P. 2003b. Influence of the time of year on the incidence of PSE and DFD in Irish pigmeat. *Meat Science*, 64, 105-111.
- PORK QUALITY, A. C. 1984. *Pork Quality. A guide to understanding color and structure of por muscle*, Ottawa, Join Publication of Reserch (Lacombe Meat Reserch Centre) and Food Production and Inspection Branch.
- PRÄNDL, O., FISHER, A., SCHMIDHOFER, T. & SINELL, H. J. 1994. *Tecnología e Higiene de la Carne*, Acribia, Editorial, S.A.
- RIOJAS-VALDES, V. M., CANALES-ZAMBRANO, J. C., GOMEZ-DE LA FUENTE, J. C., DAVALOS-ARANDA, G., HERNANDEZ-VIDAL, G. & SALINAS-MELENDZ, J. A. 2005. Allele frequency of porcine stress syndrome in Nuevo Leon by PCR-RFLP analysis. *Veterinaria Mexico*, 36, 261-267.
- RITTER, M. J., ELLIS, M., HOLLIS, G. R., MCKEITH, F. K., ORELLANA, D. G., VAN GENUGTEN, P., CURTIS, S. E. & SCHLIPF, J. M. 2008. Frequency of the HAL-1843 mutation of the ryanodine receptor gene in dead and nonambulatory-noninjured pigs on arrival at the packing plant. *Journal of Animal Science*, 86, 511-514.

- ROSENVOLD, K. & ANDERSEN, H. J. 2003. Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Science*, 64, 219-237.
- ROSSER, B. W. C., NORRIS, B. J. & NEMETH, P. M. 1992. Metabolic capacity of individual muscle-fibers from different anatomic locations. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 40, 819-825.
- RYU, Y. C., CHOI, Y. M. & KIM, B. C. 2005. Variations in metabolite contents and protein denaturation of the longissimus dorsi muscle in various porcine quality classifications and metabolic rates. *Meat Science*, 71, 522-529.
- SÁNCHEZ-CHIPRÉS, D. R., VILLAGÓMEZ, D., GALINDO- GARCÍA, J. & AYALA-VALDOVINOS 2008. Comportamiento productivo de cerdos portadores del gen del halotano en condiciones medioambientales no controladas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 9, 1-15.
- SANTOS, C., ROSEIRO, L. C., GONÇALVES, H. & MELO, R. S. 1994. Incidence of different pork quality categories in a Portuguese slaughterhouse: A survey. *Meat Science*, 38, 279-287.
- SCHEFFLER, T. L. & GERRARD, D. E. 2007. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling postmortem energy metabolism. *Meat Science*, 77, 7-16.
- SCHEFFLER, T. L., SCHEFFLER, J. M., PARK, S., KASTEN, S. C., WU, Y., MCMILLAN, R. P., HULVER, M. W., FRISARD, M. I. & GERRARD, D. E. 2014. Fiber hypertrophy and increased oxidative capacity can occur simultaneously in pig glycolytic skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 306, C354-C363.
- SOMA, P., VAN MARLE-KOSTER, E. & FRYLINCK, L. 2014. Frequency of the malignant hyperthermia gene in the South African pig industry. *South African Journal of Animal Science*, 44.
- SWATLAND, H. J. 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Science*, 80, 396-400.
- TOMOVIC, V. M., JOKANOVIC, M. R., PETROVIC, L. S., TOMOVIC, M. S., TASIC, T. A., IKONIC, P. M., SUMIC, Z. M., SOJIC, B. V., SKALJAC, S. B. & SOSO, M. M. 2013. Sensory, physical and chemical characteristics of cooked ham manufactured from rapidly chilled and earlier deboned *M. semimembranosus*. *Meat Science*, 93, 46-52.
- TOMOVIC, V. M., ZLENDER, B. A., JOKANOVIĆ, M. R., TOMOVIC, M. S., SOJIC, B. V., SKALJAC, S. B., TASIC, T. A., IKONIC, P. M., SOSO, M. M. & HROMIS, N. M. 2014. Technological quality and composition of the *M.*

semimembranosus and *M. longissimus dorsi* from Large White and Landrace Pigs. *Agricultural and Food Science*, 23, 9-18.

- VAN DE PERRE, V., CEUSTERMANS, A., LEYTEN, J. & GEERS, R. 2010. The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham — Effects of season and lairage time. *Meat Science*, 86, 391-397.
- VAN LAACK, R. & KAUFFMAN, R. G. 1999. Glycolytic potential of red, soft, exudative pork longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 77, 2971-2973.
- VAN LAACK, R. L. J. M., KAUFFMAN, R. G., SYBESMA, W., SMULDERS, F. J. M., EIKELBOOM, G. & PINHEIRO, J. C. 1994. Is colour brightness (L-value) a reliable indicator of water-holding capacity in porcine muscle? *Meat Science*, 38, 193-201.
- VAN OECKEL, M. J., WARNANTS, N. & BOUCQUE, C. V. 1999. Comparison of different methods for measuring water holding capacity and juiciness of pork versus on-line screening methods. *Meat Science*, 51, 313-320.
- WARNER, R. D., KAUFFMAN, R. G. & GREASER, M. L. 1997. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat Science*, 45, 339-352.
- WARNER, R. D., KAUFFMAN, R. G. & RUSSELL, R. L. 1993. Quality attributes of major porcine muscles- A comparison with the longissimus-Lumborum. *Meat Science*, 33, 359-372.
- WARRISS, P. D. & BROWN, S. N. 1987. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, 20, 65-74.
- WARRISS, P. D., BROWN, S. N. & PASCIAK, P. 2006. The colour of the adductor muscle as a predictor of pork quality in the loin. *Meat Science*, 73, 565-569.
- XING, J., NGADI, M., GUNENC, A., PRASHER, S. & GARIEPY, C. 2007. Use of visible spectroscopy for quality classification of intact pork meat. *Journal of Food Engineering*, 82, 135-141.