



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL**

**“DESARROLLO DE UN PATRÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL COLOR
DE LA CARNE DE CERDO EN MÉXICO”**

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

PRESENTA:

DIANA MALDONADO ORDAZ

TUTOR PRICIPAL:

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

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

**DR. DANILO MÉNDEZ MEDINA, FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA UNAM**

MÉXICO D.F. MAYO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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, hermanos, sobrinos y amigos por su cariño y confianza incondicional.

A mi esposo por su paciencia, tolerancia e invaluable apoyo.

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 y siempre objetiva orientación. A los miembros de mi comité tutor, Danilo Méndez Medina y Diego Braña Varela, por sus invaluable aportaciones. A la Dra. María Salud Rubio Lozano por su apoyo y colaboración en el proyecto.

A los miembros del jurado: Edith Ponce Alquicira, Gilberto Aranda Osorio y Salvador Flores Peinado por sus objetivas e invaluable aportaciones.

RESUMEN

El color de la carne fresca es el atributo de calidad que influencia en mayor medida las decisiones de compra del consumidor. Por lo anterior, se han realizado numerosas investigaciones encaminadas a desarrollar herramientas para la detección de defectos de calidad asociados con el color de la carne. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un patrón de color, científicamente sustentado, para la evaluación subjetiva del color en la carne de cerdo nacional. Para ello se realizaron mediciones instrumentales en 1021 lomos de cerdo provenientes de rastros Tipo Inspección Federal. Las mediciones de color se llevaron a cabo mediante un espectrofotómetro, en lomos de cerdo a una temperatura $\leq 4^{\circ}\text{C}$ y 30 minutos de oxigenación. Los resultados se expresaron en la escala CIELAB y posteriormente se tomó una fotografía de cada uno de los lomos evaluados. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de correlación. Las categorías de color del patrón fueron definidas con base en el valor de L^* . Los intervalos de confianza al 95% para la media de L^* se emplearon para seleccionar las fotografías de cada categoría que mejor se ajustaran a las diferencias visuales de color. El presente trabajo provee una escala descriptiva, que permite ordenar y/o segregar la carne de cerdo en diferentes categorías de calidad, según su color. Su empleo requiere de personal entrenado y no debe usarse con paneles enfocados a evaluar preferencias de los consumidores.

Palabras clave: patrón, color, CIELAB, carne de cerdo, calidad, México.

ABSTRACT

The color of fresh pork is the quality trait with the highest influence on the consumer's purchase decision. The intense research on this field has focused on developing reliable methods for the detection of color-associated quality problems. Therefore, the aim of this work is to develop a science-based color chart for the subjective assessment of pork color in México. We performed instrumental color measurements in 1021 pork loins, from federally inspected slaughterhouses. For that purpose, we used a spectrophotometer and measured loins at $\leq 4^{\circ}\text{C}$ after 30 minutes of blooming. The results were expressed in the CIELAB scale. Afterwards, a professional photography of every measured loin was taken. Data were analyzed by descriptive statistics and simple correlation. The visual color categories were defined based on L^* values. The 95% confidence interval for L^* within each category was used to select the pictures that best reflect the visual color differences. This work provides a descriptive color scale that allows sorting pork in different quality grades. This color chart must be used by trained panelists since it is not designed to assess consumer preferences.

Key words: visual standards, CIELAB, pork, quality, Mexico.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE CUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
El color y la calidad de la carne de cerdo	2
Principales defectos de calidad	2
PSE.....	2
DFD.....	5
Factores que determinan el color de la carne de cerdo	7
Factores intrínsecos.....	7
Factores extrínsecos.....	13
Aspectos básicos de la teoría del color	19
Física del color.....	19
Escala CIE L*a*b*.....	20
Metodología de evaluación del color	24
Evaluación visual.....	24
Paneles sensoriales.....	24
Medición instrumental del color.....	28
Instrumentos de medición.....	28
Componente especular.....	29
Geometría óptica espectral o difusa.....	30
Ángulo del observador.....	31
Iluminantes.....	32
Diferencia total en color (ΔE^*_{ab}).....	35
OBJETIVO	36
JUSTIFICACIÓN	36
MATERIAL Y MÉTODOS	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto del tiempo de oxigenación sobre CIE L*a*b* C*y H* en un período de 30 minutos de oxigenación.....	17
Cuadro 2. Valores de CIE L*,a*, b*, Hue e índice de saturación (C*) en LD de cerdo, con iluminantes A, C y D ₆₅ , usando 4 tamaños diferentes de apertura...	34
Cuadro 3. Media, DE, mínimo, máximo y rango de las variables instrumentales del color L*, a*, b*, C* y h* en las muestras analizadas de carne de cerdo (n=1021).....	39
Cuadro 4. Media ± desviación estándar de la variables del color (L*,a*,b*, h* y C*) en cada una de las categorías visuales del patrón para la evaluación del color de lomo de cerdo (n=1021).....	40
Cuadro 5. Intervalo de Confianza al 95% para la media de L*, tamaño de muestra (n) para cada categoría visual del patrón de color desarrollado en lomo de cerdo.....	40
Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre las variables instrumentales del color (L*, a*, b*, C*, h*) y categoría visual del patrón de color desarrollado en lomo de cerdo	41
Cuadro 7. Diferencia total de color ΔE^*_{ab} entre pares consecutivos de las categorías visuales del patrón de color desarrollado en lomo de cerdo	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caída <i>post mortem</i> del pH en carne PSE, Normal, DFD y efecto Hampshire.....	3
Figura 2: Carne pálida, suave y exudativa.....	4
Figura 3. Estructura de la Mb. A) La estructura principal de la Mb está formada por 8 α -hélices (azul) que se pliegan alrededor de un grupo central que contiene un anillo hemo (rojo). B) El grupo hemo está estabilizado por los residuos de histidina arriba (His 64) y abajo (His 93).....	7
Figura 4. Bioquímica de la Mioglobina en la carne fresca.....	9
Figura 5. Representación del color sólido para el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$	21
Figura 6. Ilustración de Hue y Chroma C^* en parte de un diagrama de cromaticidad. El punto A corresponde a la intersección entre a^* (47.63) y b^* (14.12).	21
Figura 7. Hue representa el valor en grados del arcotangente de b^* sobre a^*	23
Figura 8. Carta Canadiense oficial de color de carne de cerdo y estándares de marmoleo.....	26
Figura 9. Carta Japonesa para la evaluación del color de la carne de cerdo.....	27
Figura 10. Estándares de NPPC de evaluación de la calidad de carne de cerdo.....	27
Figura 11: Esta placa de plástico tiene el mismo color, pero la apariencia del color cambia en cada cuadrante, de acuerdo al grado de rugosidad de la superficie.....	29
Figura 12. Condiciones de los sistemas de iluminación unidireccional (45/0 y 0/45) y geometría difusa (d/0 y 0/d).	31
Figura 13. Patrón fotográfico para la evaluación del color en carne de cerdo.....	45

INTRODUCCIÓN

El color de la carne fresca es el atributo de calidad que influencia en mayor medida las decisiones de compra del consumidor (Mancini and Hunt, 2005; Tapp *et al.*, 2011). De hecho, se ha documentado que los problemas en la coloración de la carne pueden provocar cuantiosas pérdidas económicas (Boler *et al.*, 2010). Por lo anterior, desde hace varias décadas se han realizado investigaciones encaminadas a desarrollar herramientas para la detección de defectos de calidad asociados con el color de la carne (Mancini and Hunt, 2005).

El uso de espectrofotómetros para la evaluación objetiva del color, ha permitido su caracterización y es una de las herramientas más utilizadas con fines de investigación (Tapp *et al.*, 2011). Sin embargo, su uso a nivel industrial resulta poco práctico, debido a la velocidad del proceso y al alto costo de las mediciones instrumentales. Por lo anterior, la industria ha preferido la evaluación subjetiva mediante las cartas de color, debido a su practicidad y bajo costo. De hecho, países como Canadá (Maignel *et al.*, 2012), Estados Unidos (Norman *et al.*, 2003) y Japón (Tan *et al.*, 2000; Brewer *et al.*, 2001) han desarrollado estándares fotográficos y cartas de color para la evaluación subjetiva de este atributo.

En México, hasta la fecha, la industria porcícola carece de una herramienta similar sustentada científicamente en los datos del ganado nacional. Por esta razón, tanto empresas privadas como investigadores emplean con frecuencia patrones desarrollados en otros países, los cuales no son del todo aplicables a la carne de producción nacional. Lo anterior remarca la necesidad de una herramienta de evaluación que se adapte y refleje de mejor manera la calidad de la carne de cerdo producida en el país. Adicionalmente, esta herramienta puede emplearse para orientar a la industria en la evaluación de este atributo y permitir la homologación de criterios de gradación de la carne por su color, con el objetivo de facilitar el intercambio comercial.

ANTECEDENTES

El color y la calidad de la carne de cerdo

El color de la carne fresca es uno de los atributos de mayor interés para la industria cárnica. Al respecto, se sabe que es el color la característica que mayor influencia tiene sobre la decisión de compra de los consumidores, puesto que es asociado directamente con la frescura de la carne. Asimismo, se ha reportado la correlación del color con otros atributos de calidad de la carne tales como: capacidad de retención de agua y su aptitud para el desarrollo de productos cárnicos, el rendimiento a la cocción y la calidad sensorial final (Norman *et al.*, 2003). Por lo anterior, es de esperarse que gran parte de la investigación en materia de calidad de carne fresca de cerdo, enfoque su atención en el color y los factores que lo determinan (Tapp *et al.*, 2011).

Uno de los temas de mayor interés para la industria cárnica es corregir y prevenir los defectos de calidad asociados con el color. Al respecto se reconocen dos como los principales defectos de calidad en la carne fresca: pálida, suave y exudativa (PSE) y oscura, firme y seca (DFD, del inglés Dark, Firm, and Dry). Dichos defectos se describen en detalle a continuación.

Principales defectos de calidad

PSE

La aparición del defecto PSE se asocia con un estado de estrés agudo, de corta duración, que sufre el cerdo en el periodo inmediato previo a la matanza. Este episodio de estrés favorece la rápida depleción del glucógeno, aumenta la tasa de glucólisis *post mortem*, lo que a su vez provoca la acumulación de ácido láctico y una rápida caída del pH. De ahí que el pH a los 45 minutos *post mortem* (pH₄₅) se utilice como criterio para estimar la presencia de carne PSE, cuyo pH suele ser inferior a 6 después de transcurrido este tiempo. En algunos países donde la prevalencia de este defecto es alta, se emplea el criterio de pH₄₅<5.8 (Warris,

2000). La rápida caída del pH muscular cuando la canal aún está caliente (Figura 1), provoca la desnaturalización de las proteínas miofibrilares, con la consecuente pérdida del agua ligada a estas (exudado). Cuanto menor sea la capacidad de retención de agua de la carne, mayor será la cantidad de exudado, efecto que se aumenta por la contracción *post mortem* de las fibras musculares, lo que a su vez también aumenta la luz reflejada de la superficie de la carne. Si la cantidad de luz reflejada de la superficie de la carne es muy alta, menor es la absorción selectiva de la mioglobina y el color de la carne se aprecia más pálido (Swatland, 1993).

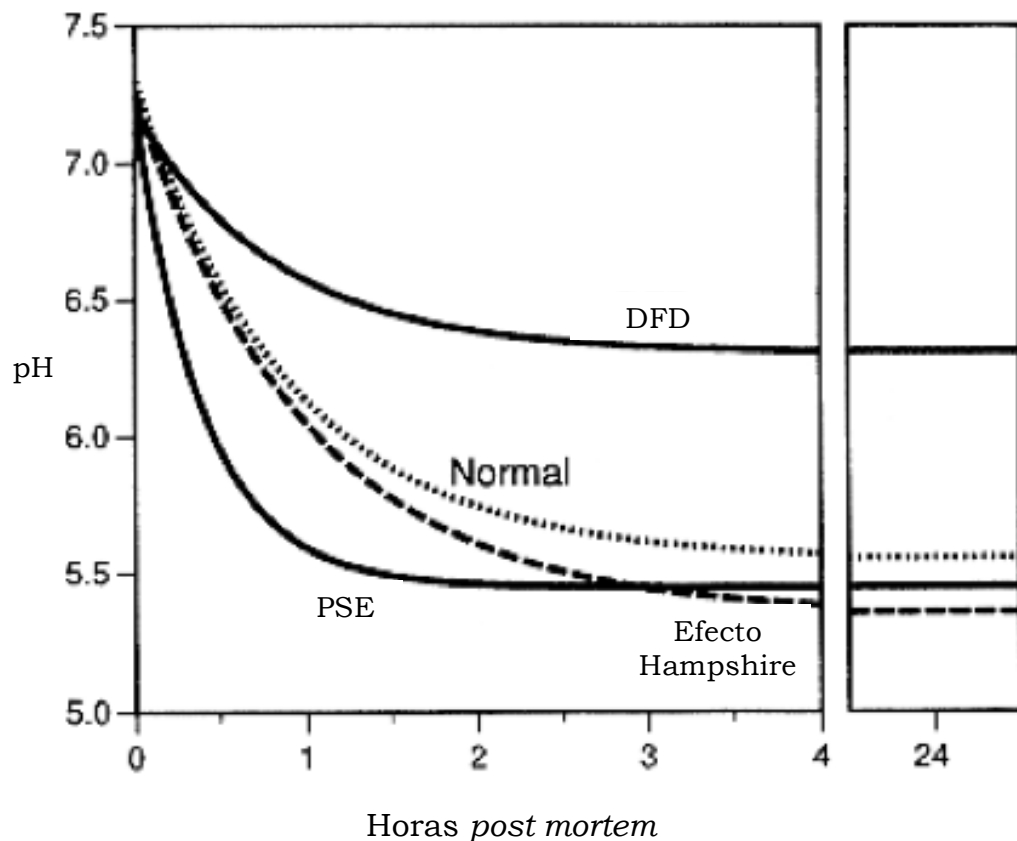


Figura 1. Caída post mortem del pH en carne PSE, Normal, DFD y Efecto Hampshire. Adaptado de Murray (1995)

Los problemas asociados con la carne PSE son muchos y poco deseables. Uno de los principales es la pobre apariencia de la carne fresca, que se observa extremadamente pálida y exudativa (Figura 2). Asimismo, el gran exudado provoca pérdida de peso y reduce el rendimiento tanto de la carne fresca como de la procesada. Adicionalmente, después de la cocción la carne PSE tiende a ser muy seca y más dura, por lo que se reporta que tiene mayor fuerza de corte en comparación con la roja firme y no exudativa (RFN) o carne normal (Warris, 2000). Lo anterior se asocia a que las condiciones de bajo pH y alta temperatura *post mortem*, favorecen la autólisis e inactivación de la calpaína, enzima que se encarga de la degradación de la titina, entre otras proteínas. Cuando la titina se mantiene intacta en el músculo *post mortem*, la fuerza de corte se ve aumentada y en consecuencia la terneza disminuida (Barbut *et al.*, 2008).



Figura 2. Carne pálida suave y exudativa

Asimismo, se ha estudiado el efecto del genotipo en la presentación de la condición PSE. Al respecto se ha reportado que los genotipos susceptibles al estrés (Halotano y Rendement Napole), tienden a desarrollar una condición de PSE más extrema, en comparación con los cerdos no portadores (Warris, 2000).

La influencia de estos genotipos sobre el color de la carne de cerdo se analizan con más detalle en el apartado de factores que afectan la calidad de la carne.

DFD

La aparición del defecto DFD en carne de cerdo se asocia con la presencia de estrés crónico. Los largos períodos de ayuno, la fatiga debida al transporte en condiciones inadecuadas, las peleas causadas por mezcla de grupos de cerdos no familiares, entre otros factores, son condiciones que provocan estrés crónico. Se ha reportado que cuando el cerdo es sometido a un estrés de larga duración, las reservas de glucógeno previo al sacrificio se verán disminuidas ($<8\text{mg g}^{-1}$) y en consecuencia también lo será la formación de ácido láctico en el músculo *post mortem* (Lindahl, 2005). Lo anterior provoca que el pH de la carne a las 24 horas *post mortem* (pH_{24}) sea anormalmente alto >6 (Figura 1). De ahí que comúnmente se utilice el pH_{24} como indicador de la presencia de carne DFD.

La poca desnaturalización proteica, así como el alto contenido de agua fuertemente ligada a las proteínas musculares y en consecuencia poco o nulo exudado, son causados por el alto pH en el músculo *post mortem*. Por lo anterior, la carne presenta una estructura cerrada y translúcida, la cual absorbe la luz en vez de reflejarla. Esto hace que la apariencia de la carne sea oscura, lo que resulta indeseable para los consumidores (Warris, 2000; Lindahl, 2005).

La carne DFD tiene pobres características de procesamiento, tales como baja o irregular formación de pigmentos en la carne curada, pobre desarrollo de sabor tanto en productos procesados como en la carne fresca cocinada (Warris, 2000). También tiene una corta vida de anaquel, lo que se explica debido al alto pH final y a la gran cantidad de agua interfibrilar, lo que promueve el desarrollo de bacterias que metabolizan aminoácidos y proteínas. Asimismo, la carne DFD empacada al vacío puede llegar a desarrollar un color verdoso por la producción de sulfomioglobina (Warris, 2000).

La presentación de defectos en la calidad de la carne está determinada principalmente por la intensidad y extensión del metabolismo proteolítico y glucolítico *post mortem*. Por ello, distintos autores han tratado de segregar la carne normal de la defectuosa con base en “valores típicos” de variables como el pH (a los 45 min y a las 24 horas *post mortem*), la capacidad de retención de agua y la luminosidad (Van Oeckel *et al.*, 1999; Lindahl, 2005; Warris *et al.*, 2006). Sin embargo, los “valores típicos” para la segregación de la carne utilizados en diferentes trabajos son muy disímiles (Koćwin-Posiadła *et al.*, 2006), sin que hasta la fecha exista un consenso respecto a los valores para definir los grupos de calidad.

No obstante, la asociación del color con los defectos de calidad anteriormente descritos está ampliamente documentada (Van der Wal *et al.*, 1988; Warner *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 2000; Warris *et al.*, 2006). Por lo anterior, el color es uno de los atributos más comúnmente empleados para la evaluación de la carne fresca, específicamente en lo relativo a la identificación de defectos de calidad. Cabe destacar que el desarrollo del color de la carne y en general su calidad, están influenciados por numerosos factores tanto intrínsecos (propios del animal o del músculo), como extrínsecos (factores externos que modifican los atributos de calidad). Todos estos factores están íntimamente relacionados y aunque en este trabajo se presentan de forma separada, en la realidad actúan de manera simultánea.

Factores que determinan el color de la carne de cerdo

Factores intrínsecos

Bioquímica de la Mioglobina

La mioglobina (Mb) es una proteína sarcoplasmática cuya función es captar el oxígeno empleado por la mitocondria en el metabolismo celular. Es un monómero formado por 153 aminoácidos y su número y secuencia es específica de cada especie. En su estructura contiene 8 segmentos con α -hélices unidas, posee un anillo hemo que tiene un átomo central de hierro que puede formar seis enlaces, de estos el sexto sitio es el más importante, y puede unirse reversiblemente a algunos ligandos (Figura 3). Los dobles enlaces conjugados en el grupo hemo son los que poseen capacidad de absorber luz visible y por ende cumplir con la función de un pigmento (Mancini and Hunt, 2005).

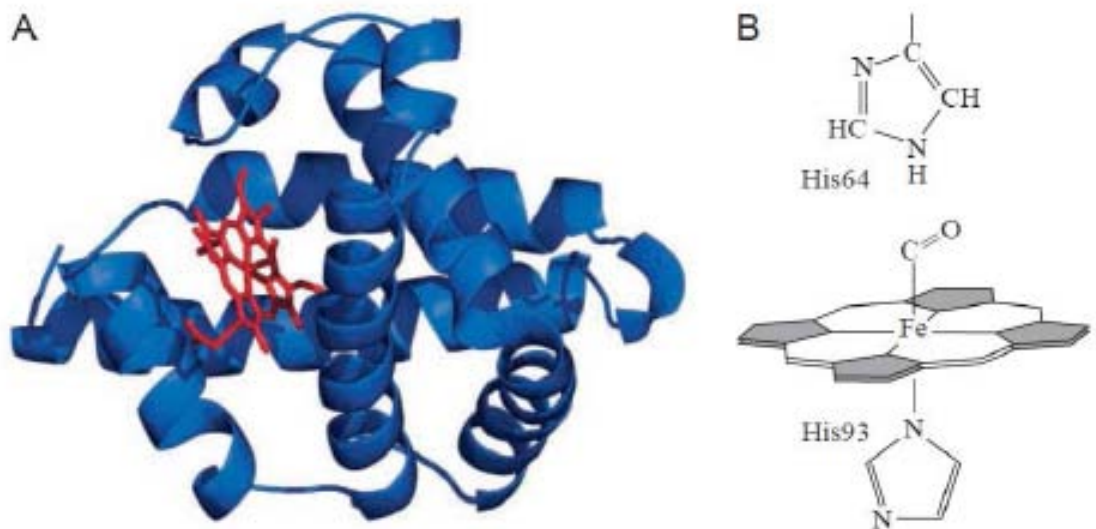


Figura 3. Estructura de la Mb. A) La estructura principal de la Mb está formada por 8 α -hélices (azul) que se pliegan alrededor de un grupo central que contiene un anillo hemo (rojo). B) El grupo hemo está estabilizado por los residuos de histidina arriba (His 64) y abajo (His 93). Fuente: Ordway and Daniel (2004)

La Mb representa más del 85% de los pigmentos presentes en la carne fresca (Lindahl *et al.*, 2001), aunque existen otras hemo-proteínas tales como la hemoglobina y el citocromo C, pero en concentraciones despreciables (Mancini and Hunt, 2005). Por lo tanto, la Mb es un factor clave en el color de la carne y, por ende, debe ser tomada en consideración. Si bien la cantidad de Mb presente en el músculo influye en el color de la carne, las formas redox de esta molécula también pueden ocasionar defectos en la coloración. En este sentido, la presencia de varias formas redox obedece a dos factores principales: 1) la ligadura presente en el sexto sitio de coordinación y 2) el estado de balance del átomo de hierro. Ello da origen a las cuatro formas redox de la mioglobina y cada una de estas a su vez otorga atributos de color particulares.

La deoximioglobina (DMb) produce un color rojo-rosado púrpura y se presenta cuando la Mb tiene ligadura libre en el sexto sitio de coordinación y el átomo de hierro en estado reducido (Figura 4). Por su parte, la oximioglobina (OMb) y la carboximioglobina (COMb) brindan un color rojo brillante. Ambas formas (OMb y COMb) tienen ligado en el sexto sitio de coordinación moléculas de O₂ y de CO, respectivamente, así como el átomo de hierro en estado reducido. Finalmente, la metamioglobina (MetMb) produce un color café parduzco. Esta forma redox contiene agua ligada en el sexto sitio de coordinación y el átomo de hierro en estado oxidado (Bendahl *et al.*, 1998; Lindahl *et al.*, 2001; AMSA, 2012).

El ciclo del color de la carne fresca es una interconversión dinámica, reversible y constante entre las tres principales formas redox (OMb, DMb y MetMb) (Lindahl, 2005). Las cantidades relativas de DMb, OMb y MetMb en la carne, van a depender de la disponibilidad de oxígeno ambiental, de la tasa de auto-oxidación de la mioglobina y de la capacidad de reducción de la MetMb. La presentación de estas formas de la mioglobina en la carne es siempre en el mismo orden. En la superficie de la carne se forma una capa de OMb y por debajo otra capa de MetMb. Muy por debajo de la capa de MetMb se forma una banda de DMb. El grosor de la banda de OMb, y por lo tanto la distancia de la superficie a la banda

de MetMb es dependiente de la penetración del O_2 (Mancini and Hunt, 2005). La disponibilidad del O_2 y la profundidad a la cual se difunde en la carne, dependerá de la tasa de consumo de O_2 del músculo, la temperatura de la carne, la presión externa de O_2 , el pH y la competencia por O_2 por otros procesos metabólicos (Mancini and Hunt, 2005). Hay más formación de OMb a bajas temperaturas y bajos valores de pH, ya que esto aumenta la solubilidad del O_2 e inhibe su consumo por la enzimas mitocondriales (Lindahl, 2005).

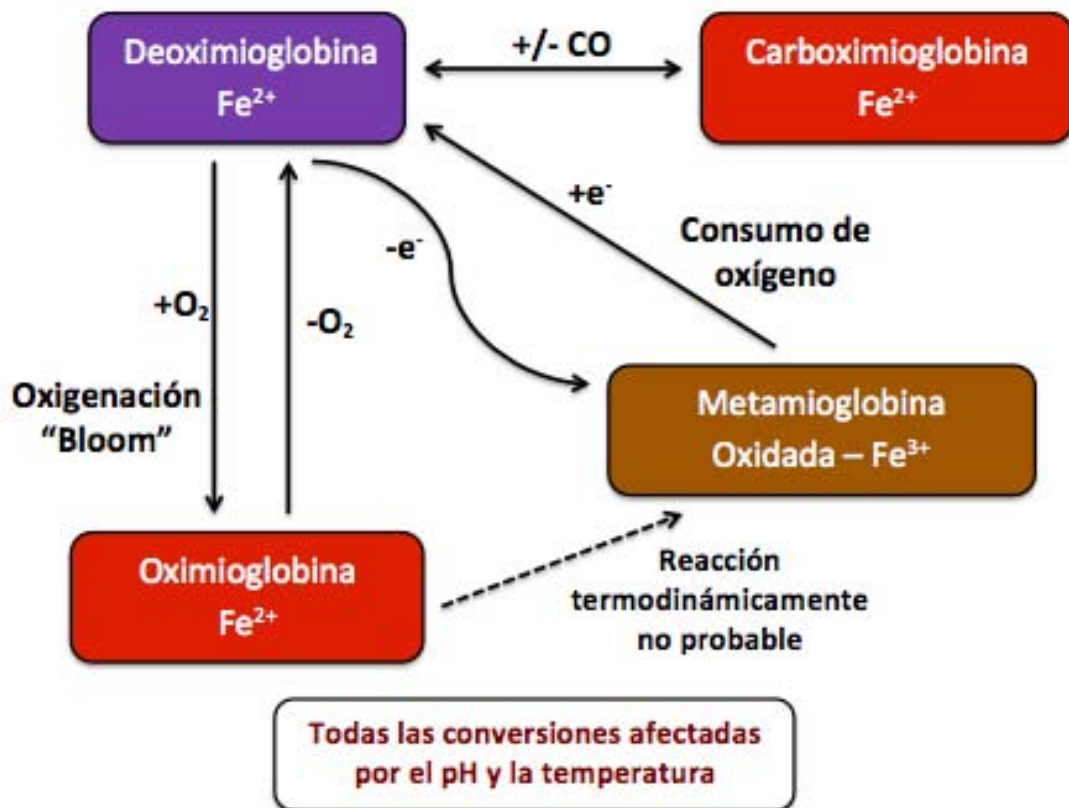


Figura 4. Bioquímica de la mioglobina en la carne fresca. Adaptado de: AMSA 2012

Debido a lo anteriormente expuesto, en estudios relacionados con la medición del color, es importante garantizar que la carne se encuentre por debajo de 4 °C y que se provea un tiempo de oxigenación suficiente (ej. 30 min), para que se maximice la formación de Omb y la lectura de la muestra esté relacionada con lo que se observaría en un anaquel de exhibición de carne fresca (AMSA, 2012).

Genética

Actualmente se conocen dos genes que afectan significativamente la calidad de la carne, puesto que están asociados con la poca capacidad de retención de agua y/o una marcada palidez de la misma: el gen RYR1 (ryanodine receptor 1 o CRC, calcium release channel) y el gen PRKAG3 (protein kinase adenosine monophosphate-activated, gama 3 subunit) (Cherel *et al.*, 2010; Camacho *et al.*, 2014). Los cerdos portadores del gen RYR1, también conocido como gen Halotano (nn), suelen tener una mejor conversión alimenticia y producir canales más magras que los no portadores (NN) y heterocigotos (Nn). Sin embargo, son más susceptibles de desarrollar carne PSE extrema (Lindahl, 2005; Barbut *et al.*, 2008). Lo anterior se manifiesta en altos valores de pérdidas de agua por goteo y pobres características sensoriales, puesto que el genotipo nn presentan una drástica caída del pH inicial el cual puede llegar hasta 5.5 (Camacho *et al.*, 2014).

La mutación RYR1, es un gen autosómico recesivo y está asociada al “Síndrome de Estrés Porcino” (PSS). El punto de mutación es el nucleótido 1843, el aminoácido 615 (Arg615Cys) del canal liberador de calcio del retículo sarcoplásmico. Esta mutación provoca que en el músculo *post mortem*, la liberación del calcio sea 2 veces mayor a la liberación normal. Esto es responsable de la aceleración del metabolismo muscular, lo que genera una marcada acumulación de ácido láctico (Barbut *et al.*, 2008). En un estudio realizado en cerdos (n=433) provenientes de 7 estados de la república Mexicana, 96% de estos resultaron halotano negativos, mientras que el 4% fueron halotano positivos (Camacho *et al.*, 2014). Aun cuando la presencia del gen halotano es baja

comparada con el total de la población, debe tenerse en cuenta que este gen aunado a las condiciones de transporte y manejo *ante mortem* inadecuadas pueden condicionar la presencia de carne PSE.

Otro gen que afecta la calidad de la carne de cerdo es el gen PRKAG3 o gen de Rendimiento Napole (RN), el cual es un alelo dominante RN^- . Los animales portadores de este gen tienen niveles musculares de glucógeno anormalmente altos. La mutación RN^- es una sustitución no conservativa (R200Q) en el locus PRKAG3 ubicado en el cromosoma 15, la cual codifica para la isoforma específica de músculo de la subunidad reguladora γ , de la enzima adenosina monofosofato-activada por protein-quinasa (AMPK por sus siglas en inglés). Se sugiere que la sustitución R200Q puede ser una mutación dominante negativa, que inhibe la degradación del glucógeno *in vivo* (Lindahl *et al.*, 2006a). La presencia del alelo RN^- incrementa de manera dramática el metabolismo oxidativo, así como el contenido de glucógeno en el músculo *in vivo* y por ende la glucogenolisis muscular *post mortem* (Cherel *et al.*, 2010). Esto, a su vez, provoca que el pH final de la carne sea anormalmente bajo (≤ 5.4) y muy cercano al punto isoeléctrico de las proteínas musculares (5.2-5.3) (Boler *et al.*, 2010). El resultado es una gran desnaturalización proteica, una pobre capacidad de retención de agua y una apariencia más pálida de la carne (Brewer *et al.*, 2002). El alelo RN^- se ha difundido en la población porcina mundial, lo anterior porque está relacionado con el incremento en la ganancia diaria de peso y menor grosor de grasa dorsal (Brewer *et al.*, 2002). El alelo RN^- ha sido identificado en ciertas líneas genéticas de la raza Hampshire, particularmente en Francia y Suecia. Los bajos valores de pH han derivado en el uso del término “carne ácida” y se ha asociado a la raza Hampshire (Figura 1) denominándose “efecto Hampshire” (Warris, 2000). No obstante, Cherel *et al.* (2010), señala que aun cuando los efectos de la raza Hampshire y el genotipo RN^- en el metabolismo muscular son muy similares, esto no demuestra que el efecto Hampshire se adscriba completamente a la presencia del genotipo RN^- .

Se ha visto que los genotipos antes descritos, los cuales aumentan la susceptibilidad de los cerdos al estrés, pueden impactar el color de la carne en mayor o menor medida dependiendo del tipo de músculo estudiado. Lo anterior, debido a que el metabolismo muscular ya sea oxidativo o glucolítico, varía de acuerdo a su fisiología y anatomía, entre otros factores. A continuación se describe brevemente el metabolismo y composición de las fibras musculares y su efecto en el color de la carne.

Músculo y fibras musculares

Existe considerable variación en las características de calidad, específicamente en color, entre los diferentes músculos de una misma canal. Esta variación a menudo se relaciona directamente con las propiedades metabólicas y contráctiles del músculo, así como con el contenido de pigmento, las cuales están determinadas por la distribución de los tipos de fibras musculares (Klont *et al.*, 1998; Brewer *et al.*, 2001; Rosenvold and Andersen, 2003; Lindahl, 2005).

Los músculos se pueden clasificar como glucolíticos (blancos) u oxidativos (rojos), debido al metabolismo energético que predomine. Las fibras musculares tipo I, son de contracción lenta, las de menor tamaño, con metabolismo oxidativo (aeróbico), de color rojo, mayor contenido de lípidos, Mb y capilares por fibra en comparación con las fibras tipo II. Las fibras tipo IIA son de tamaño intermedio, rojas, de contracción rápida, tienen alto contenido de mioglobina, lípidos y gran cantidad de capilares por fibra. Las tipo IIB, son de color blanco, contracción lenta, cuentan con alto contenido de glucógeno, metabolismo anaeróbico y son las de mayor tamaño (Klont *et al.*, 1998; Warris, 2000; Lindahl, 2005). Una mayor concentración de fibras tipo I en el músculo produce un color más rojo, así como un mayor contenido de fibras tipo IIB producen un color más pálido (Gentry *et al.*, 2004; Nam *et al.*, 2009; Cherel *et al.*, 2010).

En términos generales se sabe que los músculos glucolíticos son aquellos que requieren una fuente rápida de energía, por lo que predominan las fibras musculares tipo IIB. Mientras que los músculos oxidativos tienen un metabolismo

aérobico para la producción de energía, por lo que requieren grandes cantidades de mioglobina para el depósito de oxígeno y predominan las fibras musculares tipo I. El metabolismo oxidativo es más eficiente en la producción de energía (36 ATP), sin embargo bajo condiciones de estrés en el animal, el metabolismo glucolítico (2 ATP) es el primero en activarse puesto que funciona en anaerobiosis (Warris, 2000).

El contenido de mioglobina varía de acuerdo al tipo de músculo, de manera que los músculos rojos oxidativos como el *Rectus femoris* (RF) y la parte profunda del *Bíceps femoris* (BF), tienen mayor contenido de mioglobina que los músculos blancos glucolíticos, tales como el *Longissimus dorsi* (LD) y el *Gluteus medius* (GM) (Lindahl *et al.*, 2001; Ranken, 2003). No obstante, se ha reportado que el LD de cerdos Hampshire, portadores del alelo RN⁻, tiene un metabolismo más oxidativo y menos glucolítico que los no portadores (Lebret *et al.*, 1999).

Se ha reportado que la instauración del rigor mortis es más rápida en los músculos blancos que en los rojos. Lo que se explica debido al desbalance en la producción y consumo de ATP en los músculos glucolíticos bajo condiciones anaeróbicas (Klont *et al.*, 1998).

Factores extrínsecos

Manejo post mortem

El enfriamiento de las canales en el período *post mortem* es un manejo común en la industria cárnica. En los sistemas de enfriamiento convencional, después de realizar el lavado e inspección de las canales, se busca ingresarlas a las cámaras de refrigeración con alrededor de 1°C (Warris, 2000). Asimismo se busca que la carne tenga una temperatura $\leq 7^{\circ}\text{C}$ antes de realizar un manejo posterior, como el despiece o el transporte a otra planta (Warris, 2000). El almacenamiento de la carne en refrigeración, tiene implicaciones a nivel microbiológico, desarrollo de la capacidad de retención de agua, la pérdida de peso de las canales por evaporación y el color final, entre otros. Se ha demostrado que la velocidad de enfriamiento de las canales puede afectar la producción de ácido láctico, la caída

del pH, el consumo de fosfocreatina (CP), ATP y por lo tanto la instauración del *rigor mortis*. Asimismo, se ha establecido que la actividad enzimática muscular, así como la caída *post mortem* del pH son dependientes de la temperatura (Warris, 2000).

Algunos autores reportan que el enfriamiento rápido de las canales, con la consecuente disminución de la velocidad de caída del pH, produce un color más oscuro, menos rojo y menos amarillo (Lindahl *et al.*, 2006b). Asimismo, las altas temperaturas *post mortem* >30°C (Warris, 2000) de las canales son un elemento indeseable, debido a que aumentan la tasa de oxidación de los pigmentos de la carne y provocan la formación de MetMb. Al respecto se ha visto que el almacenamiento la carne a una temperatura de refrigeración favorece la estabilidad del color.

Interacción pH y temperatura

La interacción del pH y la temperatura del músculo durante la glucólisis *post mortem* determinan el grado de desnaturalización de las fibras musculares, así como la estructura del músculo, su capacidad de retención de agua y el color. Cuando el pH₄₅ es muy cercano al punto isoeléctrico de las fibras musculares (5.2-5.3) (Boler *et al.*, 2010), mientras la temperatura de la canal sigue siendo alta >30°C (Warris, 2000), mayor será el grado de desnaturalización proteica y exudación. El punto isoeléctrico, es el pH en el que las proteínas no tienen carga eléctrica neta y tienden a perder el agua que está normalmente ligada a ellas (Warris, 2000). Por lo que la superficie de la carne pierde su apariencia homogénea y se vuelve húmeda. Cuando la luz incide en la superficie húmeda de la carne, menor cantidad de luz es absorbida, por lo que la reflexión de esta aumenta considerablemente. Si la reflexión de la luz es muy alta, una parte de ésta es reflejada sin cambios en la longitud de onda por lo que es muy cercana al color de la fuente de luz y la carne tiene una apariencia más pálida (Swatland, 1993).

La reflectancia de la carne aumenta cuando el pH desciende, aun cuando no ocurra gran desnaturalización de las proteínas, probablemente por la reducción del espacio entre los miofilamentos (Lindhahl *et al.*, 2001). Cuando el pH *post mortem* desciende muy lentamente ($\text{pH}_{24} > 6$ alejado del punto isoeléctrico de las proteínas) las fibras musculares se hinchan debido a la alta retención de agua, la superficie es más homogénea y poco húmeda, lo que provoca que la luz que incide sobre el músculo sea mayormente absorbida y la apariencia de la carne sea más roja y oscura (Brewer *et al.*, 2001; Romans *et al.*, 2001; Barbin *et al.*, 2012). Aunque se ha descrito que un pH_{24} alto tiene un efecto positivo en la capacidad de retención de agua, las características de procesamiento, el sabor de la carne fresca y la vida de anaquel, este efecto positivo puede verse comprometido cuando el pH_{24} excede 6.1 (Barbut *et al.*, 2008).

La interacción del pH y la temperatura del músculo *post mortem*, es determinante en el desarrollo del color rojo-rosado de la carne de cerdo. Se ha reportado que la interacción entre el pH y la temperatura, afectan la actividad del sistema de enzimas consumidoras de oxígeno y en consecuencia el color de la carne, independientemente de si los cambios son detonados por el genotipo, la dieta, el estrés *ante mortem* o la cadena de frío (King *et al.*, 2011).

Oxigenación de la carne

El desarrollo del color rojo-rosado en la carne de cerdo, es una característica de calidad deseada que ocurre durante la exposición de la carne al aire. La oxigenación de la Mb es más eficiente en condiciones de pH y temperatura bajas ($\text{pH}_{24} < 6$; 0-2°C) (Warris, 2000; AMSA, 2012) puesto que aumentan la solubilidad del oxígeno y reduce la actividad de la enzimas consumidoras de oxígeno (Lindhahl *et al.*, 2001; Lindahl, 2005). Cabe señalar que bajo las condiciones de medición instrumental del color de la carne, el pH no puede controlarse, no obstante si puede controlarse la temperatura de las canales la que a su vez afectará el descenso del pH en el músculo *post mortem*.

En materia de investigación del color de la carne fresca, el tiempo y grado de oxigenación es un factor muy importante a considerar. Al respecto se ha reportado que el tiempo de oxigenación, afecta significativamente las variables instrumentales del color. Algunos autores han reportado, que el tiempo de oxigenación en LD de cerdo, incrementó significativamente el valor de a^* entre los primeros 6 y 18 min de oxigenación (Cuadro 1). El valor de a^* se estabilizó después los 30 minutos (Warris *et al.*, 2006; Škrlep and Čandek-Potokar, 2007). Para el caso de b^* , el tiempo de oxigenación resultó ser el factor más importante en su incremento. En lo primeros 30 minutos de oxigenación el valor de b^* , aumentó de 2.6 a 4.6. Posterior a los 30 minutos, se estabilizó. Los mayores cambios debido al tiempo de oxigenación se encontraron en b^* y Hue, lo que indica que la oxigenación incrementa significativamente el color amarillo de la carne de cerdo (Škrlep and Čandek-Potokar, 2007). También se reporta que la mayor intensidad en el incremento de a^* , b^* , C^* y h^* se observó en los primeros 6 a 10 minutos de oxigenación, después de ese tiempo los cambios se vuelven menos evidentes (Warris *et al.*, 2006; Škrlep and Čandek-Potokar, 2007).

Lo anterior señala que se requiere de un tiempo de oxigenación más corto para la estabilización del color de la carne de cerdo, en comparación con la carne de res que necesita de 12 a 78 minutos (Škrlep and Čandek-Potokar, 2007). En lo que se refiere a L^* , se ha reportado que el tiempo de oxigenación no afecta significativamente su valor (Warris *et al.*, 2006; Škrlep and Čandek-Potokar, 2007).

Se recomienda que la evaluación subjetiva del color de la carne fresca se realice en canales con 24 horas *post mortem*, temperatura máxima de 4°C y tiempo mínimo de oxigenación de 30 minutos (AMSA, 2012). Lo anterior con el objetivo de asegurar la correcta oxigenación en la superficie de medición y favorecer la comparación y repetibilidad de los resultados.

Cuadro 1. Efecto del tiempo de oxigenación sobre CIE L*, a*, b*, C* y h*, en un período de 30 minutos. Adaptado de: Škrlep and Čandek-Potokar (2007)

Oxigenación (minutos)	L*	a*	b*	C*	h*
0.0	52.3	6.9 ^a	2.6 ^a	7.5 ^a	20.1 ^a
2.0	52.6	7.0 ^a	3.1 ^b	7.7 ^{ab}	23.3 ^b
4.0	52.2	7.1 ^{ab}	3.3 ^c	7.9 ^b	24.7 ^c
6.0	52.5	7.3 ^b	3.6 ^d	8.2 ^c	26.1 ^d
8.0	52.6	7.4 ^b	3.8 ^d	8.3 ^{cd}	26.6 ^d
10.0	52.6	7.4 ^b	4.0 ^e	8.5 ^d	27.6 ^e
12.0	52.8	7.4 ^b	4.0 ^{ef}	8.5 ^d	28.1 ^e
14.0	52.7	7.5 ^b	4.1 ^f	8.6 ^d	28.1 ^e
16.0	52.8	7.5 ^b	4.1 ^f	8.6 ^d	28.5 ^{ef}
18.0	52.8	7.7 ^{bc}	4.4 ^g	8.9 ^e	28.9 ^{ef}
20.0	52.6	7.7 ^{bc}	4.3 ^{fg}	8.9 ^{de}	28.8 ^{ef}
22.0	52.7	7.6 ^{bc}	4.3 ^{fg}	8.8 ^{de}	29.0 ^f
24.0	52.6	7.6 ^{bc}	4.4 ^{gh}	8.8 ^{de}	29.1 ^f
26.0	52.8	7.7 ^c	4.5 ^{hi}	9.0 ^e	29.8 ^{fg}
28.0	52.7	7.7 ^c	4.5 ^{hi}	9.0 ^e	29.7 ^{fg}
30.0	52.8	7.7 ^c	4.6 ⁱ	9.1 ^e	29.9 ^g

^{a-i} Dentro de la columna, valores con diferente letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Estrés

Se ha reportado que el nivel de estrés *ante mortem* y el potencial glucolítico (medida para determinar en el músculo in vivo, la concentración de glucógeno presente antes del sacrificio), están estrechamente correlacionados y explican gran parte de la variación en las pérdidas por goteo y color de la carne de cerdo (Hambrecht *et al.*, 2005). Lo anterior puede relacionarse con el hecho de que el estrés previo al sacrificio, afecta las reservas de glucógeno y metabolitos energéticos tales como la fosfocreatina (CP) y ATP al igual que la temperatura, y por lo tanto modificaran la caída del pH inicial, en ocasiones el pH final y por ende el color de la carne (Channon *et al.*, 2002; Rosenvold and Andersen, 2003; Hambrecht *et al.*, 2005; Lindahl, 2005). Se ha estimado que, cuanto mayores son las condiciones de estrés, mayor será el aumento de la temperatura y la caída del pH en el período *post mortem* temprano, aún cuando el pH final no se afecte.

En lo referente al nivel de estrés, éste puede estar influenciado por la interacción de factores como, la genética, el ayuno, el transporte, el descanso pre sacrificio y el método de aturdimiento (Hambrecht *et al.*, 2003). Sin embargo, Hambrecht *et al.* (2005) reporta que el alto nivel de estrés previo al sacrificio, contribuye en mayor medida en la reducción de la calidad de la carne de cerdo. En lo que se refiere al método de aturdimiento, algunos autores han reportado que el aturdimiento con CO₂, reduce la incidencia de PSE y petequias en las fascias musculares de lomos y jamones de cerdo, en comparación con aturdimiento por electricidad (Velarde *et al.*, 2000; Channon *et al.*, 2002).

Existen indicadores del nivel de estrés tales como la adrenalina, creatinina quinasa (CK), medición de lactato en plasma y el potencial glucolítico del músculo (Warris, 2000; Hambrecht *et al.*, 2005.). No obstante se ha observado que la medición de lactato en plasma y el potencial glucolítico, explican el 48 y el 28% respectivamente, de las variaciones en las pérdidas por goteo y L*, en la carne de cerdo (Hambrecht *et al.*, 2005). El incremento en el tamaño de las plantas

modernas de sacrificio, ha condicionado el procesamiento de carne a líneas de altas velocidades, hecho que provoca que los cerdos sufran condiciones extremas de estrés por deficiencias en el manejo *ante mortem*.

Aspectos básicos de la teoría del color

En los apartados anteriores se ha expuesto la importancia del color como atributo de calidad de la carne y algunos de los factores más importantes que influyen en este. Sin embargo es importante dar un breve repaso alrededor de las bases teóricas que sustentan la evaluación del color de la carne, en virtud de la complejidad asociada con la evaluación de este atributo.

Física del color

Para la percepción del color es necesaria la interacción de tres elementos básicos: la fuente de luz, el objeto y el detector. La luz incide sobre el objeto o espécimen a evaluar por ejemplo la carne, el detector que puede ser el ojo humano o bien un instrumento de medición del color como espectrofotómetro o colorímetro. El ojo humano es tricromático, por lo que el cerebro interpreta la intensidad de rojo, verde y azul, a razón de esto se han desarrollado escalas de medición del color que corresponden con la percepción del ojo humano (AMSA, 2012).

Está establecido que la luz está conformada por un espectro electromagnético, el cual está definido por longitudes de onda de energía medidas en nanómetros (nm). El espectro de luz visible para los humanos va de los 390 a los 750 nm. Así mismo se ha determinado cuáles son las longitudes de onda, para cada uno de los colores percibidos por el ojo humano. El color rojo es percibido con las longitudes de onda de 650 a 700 nm, el color verde de 490 a 575 nm y el azul de 455 a 490 nm.

Cuando un haz de luz incide sobre una superficie de color, físicamente puede sufrir tres fenómenos: absorción, reflexión y difracción o dispersión. Estos fenómenos físicos son mutuamente excluyentes, es decir que cuando una serie de

longitudes de onda son absorbidas, estas mismas longitudes no pueden ser reflejadas o dispersadas (SENSING, 2007). Las longitudes de onda absorbidas no son perceptibles al ojo humano por que son retenidas por el objeto, mientras que la reflejadas si son captadas por el ojo. Para percibir el color de la carne, es necesario que la fuente de luz contenga las longitudes de onda que la superficie de la carne es capaz de reflejar, de lo contrario el color no podrá ser distinguido por el ojo o el detector (AMSA, 2012).

Escala CIE L*a*b*

Numerosas investigaciones reportan el uso del sistema internacional CIE L*a*b* (1976) el cual permite que el color medido por un instrumento pueda expresarse en un espacio tridimensional mediante los valores de las coordenadas L* (luminosidad), a* (intensidad de rojo) y b* (intensidad de amarillo). El ángulo o tono (h*) y la saturación (C*) del color pueden calcularse a partir de los valores de a* y b* (Figura 5).

La variable L* describe el brillo u oscuridad del color y sus valores van del 0 al 100, donde 0 es negro y 100 es blanco. La variable a* se ubica en el eje horizontal en un espacio tridimensional, los colores que describe van desde el verde en su extremo más negativo (-a) al rojo en su extremo más positivo (+a). La variable b* describe colores que van desde el azul, en su extremo más negativo (-b), hasta el amarillo en su extremo más positivo (+b).

Chroma (C*) se define como el índice de saturación del color, el cual indica cuan intenso es determinado color (AMSA, 2012). C* se calcula a partir de los valores de a* y b* (Fernández-Vázquez *et al.*, 2013) mediante la siguiente fórmula:

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

El valor de C* al centro del diagrama es 0 y aumenta conforme se aleja del centro (Figura 6).

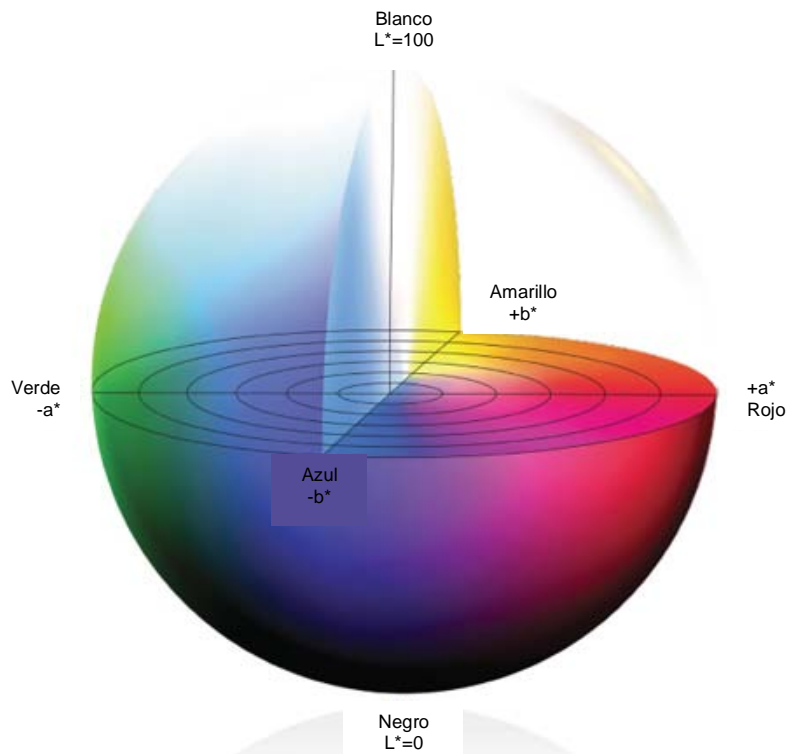


Figura 5. Representación del color sólido para el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$. Fuente: (KONICA MINOLTA SENSING, 2003)

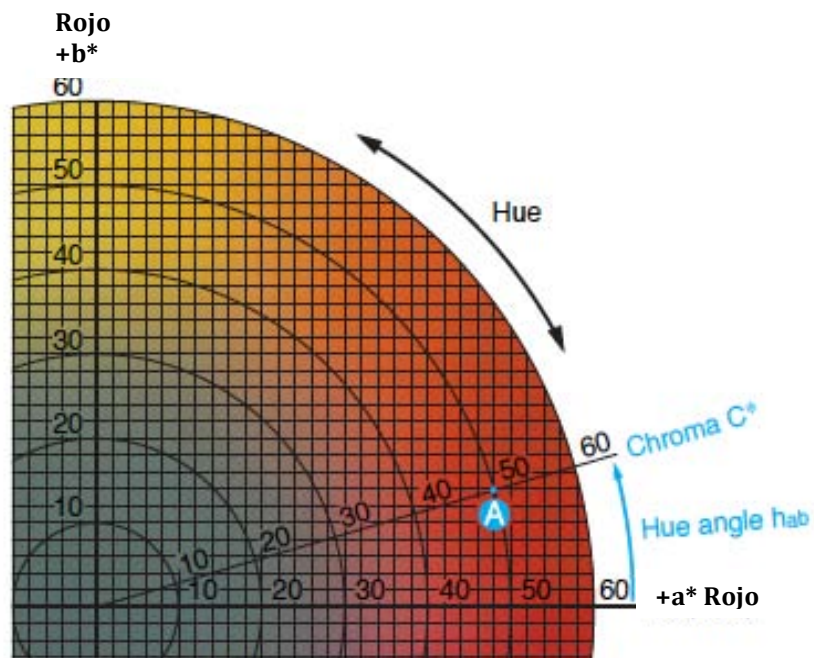


Figura 6. Ilustración de Hue y Chroma C^* en parte de un diagrama de cromaticidad. El punto A corresponde a la intersección entre a^* (47.63) y b^* (14.12). Adaptado de: AMSA (2012)

El color perceptible tiene propiedades como tono o Hue (h^*) luminosidad (L^*) y saturación (C^*). Hue corresponde al tono en el que el color es comunicado (rojo, amarillo, verde, azul). La variable de tono se compone por las longitudes de onda específicamente reflejadas de la superficie de la carne y de regreso al detector y representa el espectro total de color que va de 0° a 360° (AMSA, 2012). Se calcula como:

$$\arctan = (b^*/a^*)$$

Cuando a^* y b^* tienen valores positivos, el color es una combinación entre rojo y amarillo y el valor de h^* estará entre 0° y 90° (en el primer cuadrante). Cuando la proporción entre b^* y a^* es uno, h es igual a 45° . Conforme a^* decrece y se acerca a cero (el color se vuelve menos rojo), el valor de h^* incrementa y se acerca a 90° . Cuando a^* se aproxima al infinito, el color se vuelve más rojo, y h^* se acerca a 0° . Sucede lo contrario con b^* . Conforme b^* incrementa y se aproxima al infinito, el color se vuelve más amarillo, y h^* aumenta acercándose a 90° . Conforme b^* decrece y se aproxima a 0, el color se vuelve menos amarillo y h^* se aproxima a 0° . Si a^* es negativo y b^* es positivo, el color es una combinación de verde y amarillo, y h^* estará entre 90° y 180° (segundo cuadrante). Si a^* y b^* son negativos (combinación de verde y azul), h^* estará entre 180° y 270° (tercer cuadrante). Si a^* es positivo y b^* negativo, el color es una combinación de rojo y azul, y h^* se ubicara en el cuarto cuadrante entre 270° y 360° (Figura 7), (Yancey and Kropf, 2008).

Se ha reportado que las variables instrumentales L^* y a^* pueden ser fácilmente aplicadas al color de la carne. Resultados de paneles sensoriales sugieren que los colores representados por b^* (azul a amarillo) fueron más difíciles de evaluar que L^* y a^* . Por lo que se sugiere que la evaluación de b^* requiere mayor entrenamiento para ser descrita. Los valores bajos de L^* son indicativos de un color de carne más oscura, el cual es más deseable debido a los atributos de calidad asociados (Newcom *et al.*, 2004).

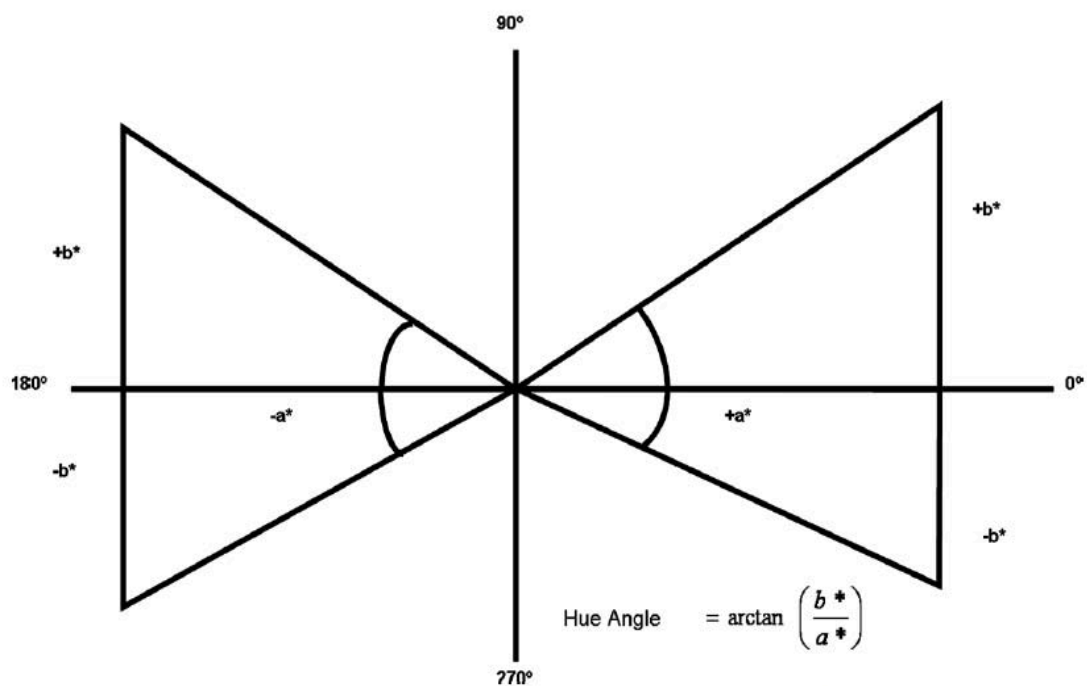


Figura 7. Hue representa el valor (en grados) del arcotangente de b^* sobre a^* .
Fuente: (Yancey and Kropf, 2008).

Brewer *et al.* (2001) sugieren que L^* puede ser el mejor indicador de carne PSE o DFD, pues reportaron que L^* fue la variable más correlacionada con las determinaciones visuales del color en lomo de cerdo ($r=-0.67$ a -0.80). Usando L^* y a^* se puede explicar el 69% de la variación visual en el color. Lindahl *et al.* (2001) observaron que los pigmentos y el contenido de MetMb están ligeramente correlacionados con L^* ($r=0.35-0.45$). El contenido de pigmentos y las formas redox de la Mb, tienen un efecto significativo sobre los valores de las variables instrumentales del color en carne fresca (L^* , a^* , b^* , h^* y C^*). Lindahl *et al.* (2001) reportaron que el contenido de pigmentos y las fracciones de MetMb y OMb, explican el 86% de la variación en L^* en LD y *Biceps femoris* (BF). El contenido de pigmento, la fracción de MetMb y en menor grado la DMb, son los factores que explican el 90% en la variación en a^* . Sin embargo, se reporta una baja correlación ($r=0.11$) entre a^* y el contenido de pigmento, lo que indica que existen otros factores más importantes que este, para la percepción del color rojo en la

carne de cerdo. Las fracciones de DMb y OMb explican 86% de la variación en b^* en LD y BF. Las fracciones de DMb, MetMb y OMb explican el 89% de la variación en C^* . El contenido de pigmento y la fracción de MetMb explican 89% de la variación en h^* .

Las escalas de color de los sistemas $L^*u^*v^*$ y XYZ también son usadas para representar el color medido con instrumentos. Sin embargo, las escalas HunterLab y CIE $L^*a^*b^*$ proveen datos más reproducibles de luminosidad respecto a los otros dos sistemas (Mancini and Hunt, 2005). Con la finalidad de realizar comparaciones consistentes entre las variables instrumentales del color, las publicaciones científicas deben reportar el sistema y la escala de medición del color.

Metodología de evaluación del color

Evaluación visual

La evaluación visual del color de la carne permite comparar la percepción del consumidor y su relación con las mediciones instrumentales del color (Mancini and Hunt, 2005). Para la evaluación visual del color se emplean paneles sensoriales de personas entrenadas y/o no entrenadas. El uso de panelistas humanos para la evaluación visual del color, es difícilmente reproducible de forma confiable a través del tiempo, debido a que está influenciado por las preferencias personales, la fuente de luz, las deficiencias visuales y los factores ambientales. A pesar de las limitantes, la evaluación visual puede proporcionar datos objetivos, precisos y repetibles, siempre y cuando se haga un manejo adecuado del panel, las muestras y el procedimiento de colección de datos (AMSA, 2012).

Paneles sensoriales

Se clasifican en paneles entrenados o no entrenados (consumidores). Los paneles entrenados, proporcionan una descripción visual del color, son más usados en la investigación y se consideran como evaluaciones objetivas. Estos son sometidos a un entrenamiento riguroso con el objetivo de obtener altos índices de eficiencia en

el uso de escalas descriptivas de evaluación del color. Los paneles de consumidores emplean escalas hedónicas de color, en las que se evalúa las preferencias y aceptabilidad de los atributos de color de la carne. El uso de cualquiera de los dos tipos de paneles va a depender de los objetivos de la investigación (AMSA, 2012).

La fuente de luz, empleada en la evaluación visual, así como su intensidad, deben ser seleccionadas y estandarizadas entre cada muestra, panelista o repetición para evitar que sesgue la percepción del color de la carne. Se recomienda una fuente de luz fluorescente, con intensidad de 1614 lux (150 candelas), la cual presenta una temperatura de color entre 3000 a 3500K. Esta fuente de luz maximizará la apariencia del color y disminuirá la foto-oxidación (Mancini and Hunt, 2005). Las lámparas de luz blanca provocan que el color de la carne tenga tintes azules o verdes, este tipo de luz debe ser evitada. La relevancia de los resultados obtenidos mediante el uso de panelistas, esta fuertemente asociada con el uso de escalas de color.

Las escalas de color se dividen en dos categorías las descriptivas y las hedónicas. Las escalas hedónicas son comúnmente utilizadas por paneles no entrenados, para determinar el grado de preferencia y aceptación del color o la apariencia de la carne exhibida por parte de los consumidores. Los paneles entrenados usan generalmente escalas más complejas para caracterizar el color de la carne, evaluar el color de la vida de anaquel y evaluar el grado de decoloración. Las escalas de color para cualquiera de los paneles visuales, deben ser seleccionadas y adaptadas para ajustarse a las características únicas del producto u objeto a evaluar. Experimentos preliminares pueden ser conducidos para determinar si la escala caracteriza de manera adecuada los cambios de coloración observados (AMSA, 2012). Asimismo es necesario que los panelistas que realicen esta evaluación sean entrenados y calibrados con el patrón de color que se usara en las evaluaciones.

Maignel *et al.* (2012) reportó el método mediante el cual fue desarrollada la “Carta de color Canadiense” (Figura 8), para evaluar la carne fresca de cerdo. Esta se basó en la colección de fotos digitales de chuletas de cerdo (n=639), y posteriormente analizadas mediante visión computarizada (Computer vision analysis). El resultado fue una carta de color de 7 categorías, la cual fue validada con 251 fotografías digitales de canales de cerdo. Dicho trabajo se realizó comparando la carta de color canadiense obtenida con 2 de los estándares para evaluación de carne de cerdo más empleados a nivel mundial, que son: el Estándar de color de carne de cerdo Japonés (Figura 9) y el de National Pork Producers Council de EEUU (NPPC) (Figura 10). La comparación mostró que tanto la categoría de color más clara (0), así como la categoría más oscura (6) de la carta canadiense, son más claras que las mismas categorías de los otros dos estándares de color. Asimismo la carta canadiense tiene más niveles en las categorías intermedias (2, 3 y 4) de color que las otras dos cartas, lo que aumenta su precisión debido a que las chuletas del estudio tienen más probabilidad de quedar incluidas en las categorías intermedias (Maignel *et al.*, 2012).



Figura 8. Carta Canadiense oficial de color de carne de cerdo y estándares de marmoleo.
Fuente: (Maignel *et al.*, 2012)



Figura 9. Carta Japonesa para la evaluación del color de la carne de cerdo. Fuente: (AMSA, 2012)

PORK QUALITY STANDARDS The Other White Meat

Quality of fresh pork varies greatly. The quality levels shown below will appear differently to consumers, taste differently when cooked, and perform differently when converted to processed products. High quality pork has greater monetary value than low quality pork. Quality can be evaluated by simply visual appraisal, or it can be determined more accurately by scientific tests. This chart may be used to help identify variations in pork quality. Color and Marbling Standards cards are also available.

COLOR - TEXTURE - EXUDATION Don't be blah.

PSE Pale pinkish gray, very Soft and Exudative. Undesirable appearance and shrinks excessively.	RFN Reddish pink, Firm and Non-exudative. "IDEAL". Desirable color, firmness and water-holding capacity.	DFD Dark purplish red, very Firm and Dry. Firm and sticky surface, high water-holding capacity.
---	--	---

COLOR STANDARDS

1.0 Pale pinkish gray to white Minolta L* Value: 61	2.0 Grayish pink 55	3.0 Reddish pink 49	4.0 Dark reddish pink 43	5.0 Purplish red 37	6.0 Dark purplish red 31
--	----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------

MARBLING STANDARDS²

1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	10.0
------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

Color and marbling scores are as described in "Composition & Quality Assessment Procedures", 1999, NPPC.
¹ Minolta L* values use D50 daylight light source.
² Marbling scores correspond to intramuscular lipid content.

pork checkoff For more information contact:
National Pork Board
P.O. Box 8114, Des Moines, Iowa 50308 USA • Phone: 515-293-2600 • Fax: 515-293-2616

Figura 10. Estándares de NPPC de evaluación de la calidad de carne de cerdo. Fuente: (AMSA, 2012)

Medición instrumental del color

La medición instrumental del color es un método objetivo para la caracterización del color que puede ser usado sólo o en combinación con la evaluación visual. La medición instrumental es de especial interés debido a su rapidez, consistencia en resultados y objetividad (Mancini and Hunt, 2005).

Tapp *et al.* (2011) reportó que muchos de los artículos publicados en investigación del color de la carne (n=1068) no reportaron variables como: iluminante, tamaño de apertura, ángulo de observación, tiempo de oxigenación y número de mediciones promedio por muestra. Dichas variables son indispensables para replicar e interpretar adecuadamente los resultados del color instrumental.

Instrumentos de medición

Los instrumentos más usados en medición instrumental del color son los colorímetros y los espectrofotómetros. Los colorímetros sólo reportan el color en valores de la escala triestímulo (CIE $L^*a^*b^*$) y suelen tener combinaciones de iluminantes y observadores. Los espectrofotómetros, aportan lo mismo que los colorímetros y además proveen el análisis espectral del color en intervalos de 1 a 10 nm. El análisis espectral se emplea para estimar el porcentaje de las formas redox de la mioglobina, presentes en la superficie de la carne.

Las investigaciones en ciencia de la carne emplean indistintamente ambos instrumentos y generalmente reportan la marca del mismo, con el objetivo de favorecer la comparación de resultados; sin embargo, se han reportado variaciones importantes en el valor de L^*, a^*, b^*, h^* y C^* , de incluso varias unidades entre espectrofotómetros y colorímetros en la misma muestra (Brewer *et al.*, 2001; Tapp *et al.*, 2011).

Componente especular

El color es un atributo cromático relacionado con la absorción de la luz por el colorante de un material. Cuando la luz incide en la superficie de un espécimen, la luz sufre la reflexión especular por brillo y la reflexión difusa por el color. El ojo humano distingue el color de un objeto viendo la reflexión difusa (HunterLab, 2013). En objetos con superficies brillantes, la reflexión especular es relativamente mayor y la reflexión difusa menor. En objetos con superficies rugosas y menor brillo, la reflexión especular es menor y la difusa mayor (HunterLab, 2013). La apariencia del color se ve afectada por la rugosidad de la superficie, independientemente del color. Para el observador promedio, un espécimen con mucho brillo parecerá con un color más intenso y oscuro (Figura 11), que otro espécimen del mismo color pero con menos brillo o con un aumento en las micro rugosidades de la superficie (HunterLab, 2013).



Figura 11. Esta placa de plástico tiene el mismo color, pero la apariencia del color cambia en cada cuadrante, de acuerdo al grado de rugosidad de la superficie. Fuente: (HunterLab, 2013)

Para medir el color de un espécimen del mismo modo en el que es percibido por el ojo humano, la reflexión especular debe ser excluida (componente especular excluido), y solo la reflexión difusa debe ser medida (KONICA MINOLTA SENSING, 2003).

Geometría óptica espectral o difusa

La geometría óptica se refiere a las condiciones bajo las que un instrumento mide el color, incluyendo el ángulo en el que la luz incide sobre el objeto y el ángulo en el que el detector recibe la luz (KONICA MINOLTA SENSING, 2003). Según sea el objetivo de la investigación, se debe seleccionar el tipo de geometría óptica del instrumento. Si se pretende cuantificar de forma numérica la percepción visual del color, se recomienda el uso de un espectrofotómetro de reflectancia 45/0 o 0/45 (unidireccional o espectral), puesto que ésta es la geometría que más se acerca a la forma en la que ojo humano ve el color que incluye la valoración de brillo y textura. Con una geometría 45/0, la superficie del espécimen es iluminada de un ángulo de 45 ± 2 grados con respecto a la línea normal, y la luz es recibida en dirección a la normal (0 ± 10 grados). Con la geometría 0/45, la superficie del espécimen es iluminada en dirección a la línea normal (0 ± 10 grados) y la luz es recibida a un ángulo de 45 ± 2 grados de la línea normal (KONICA MINOLTA SENSING, 2003).

Si el objetivo es sólo apreciar el color se usan los espectrofotómetros con geometría de reflectancia difusa, en los que no se considera el brillo ni la textura de la muestra (KONICA MINOLTA SENSING, 2003). La geometría difusa usa una esfera integradora que ilumina el espécimen de modo uniforme desde todas las direcciones y detecta la luz de forma normal o bien en forma difusa. Un instrumento con geometría (d/0), ilumina el espécimen de manera difusa y detecta la luz a 10 grados con respecto a la línea normal (Figura 12). Un instrumento con geometría (0/d), ilumina el espécimen a 10 grados con respecto a la línea normal y recibe la luz reflejada en todas las direcciones (KONICA MINOLTA SENSING, 2003).

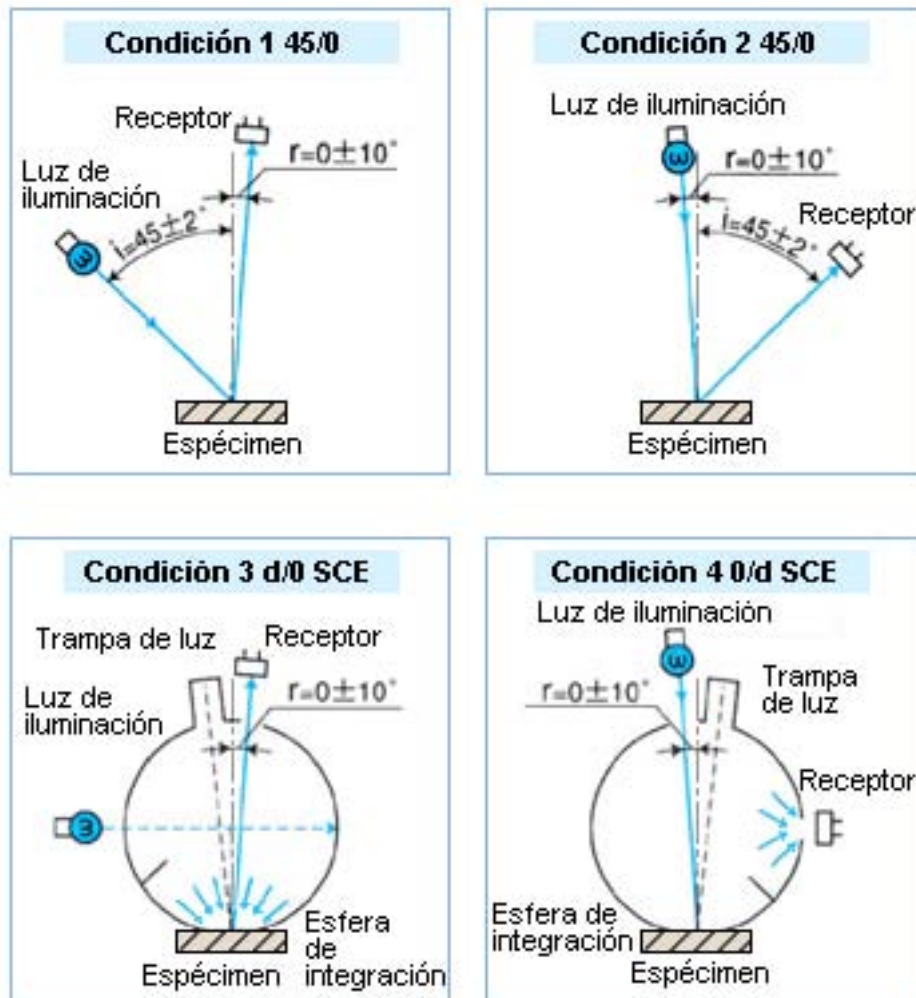


Figura 12. Condiciones de los sistemas de iluminación unidireccional (45/0 y 0/45) y geometría difusa (d/0 y 0/d). Fuente: (KONICA MINOLTA SENSING, 2003)

Ángulo del observador

El ángulo de observación, da cuenta del campo visual del ojo humano promedio al momento de ver el color. Los observadores más usados son 2° y 10° . El observador 10° es el más comúnmente usado para la medición del color de la carne (AMSA, 2012). Se ha realizado poca investigación respecto a las diferencias en las mediciones instrumentales, debidas al ángulo del observador, sin embargo HunterLab recomienda el observador a 10° por encima del de 2° . Lo anterior

puesto que captura una mayor porción de la muestra escaneada, y se alinea con el observador estándar de CIE 1964 10° (Tapp *et al.*, 2011; AMSA, 2012).

Illuminantes

Los espectrofotómetros presentan diferentes combinaciones de iluminantes a elegir. La selección del iluminante está relacionada con la muestra a medir y el objetivo de la investigación. Los iluminantes más empleados en la medición del color de la carne son: A, D65 y C.

El iluminante A, es incandescente 2857K, enfatiza la proporción de longitudes de onda rojas y se recomienda para la detección de diferencias en color rojo (AMSA, 2012). Es el iluminante de elección para la medición de carne de res. Los valores de a^* medidos con iluminante A, suelen ser mayores que aquellos obtenidos por iluminante C o D65 (Yancey and Kropf, 2008; AMSA, 2012). Los iluminantes C (luz de día del cielo del norte, (6774K) y D65 (luz de medio día, 6500K) enfatizan menos la longitudes de onda rojas, por lo que pequeñas diferencias en color rojo pueden ser difícilmente distinguidas con estos iluminantes.

Los valores de a^* pueden variar de 5 a 25 unidades en la misma muestra, dependiendo del iluminante empleado. Para el caso de una muestra de carne de res de color rojo brillante, oxigenada, los valores típicos de a^* con iluminante A, suelen ser de 30 a 40+, mientras que con los iluminantes C y D65 son 20 a 30+. Sin embargo los valores de las variables instrumentales del color, también se ven alterados por el tamaño de apertura del instrumento (Yancey and Kropf, 2008; AMSA, 2012). Los iluminantes C y D65 más asociados con la luz de día, son los más utilizados en la medición de color en carne de cerdo, los cuales corresponden con los colores predominantes de la longitudes de onda a la mitad del espectro visible (Lindahl, 2005; Yancey and Kropf, 2008; AMSA, 2012). Sin embargo se ha reportado que el iluminante C no representa adecuadamente la luz natural de día, por lo que actualmente es menos usado (Lindahl, 2005).

Tapp *et al.* (2011) reporta que el iluminante más utilizado en la investigación de ciencia de la carne, así como en la medición del color de la carne de cerdo es D65, sin embargo alrededor del 50% de los artículos revisados (n=527), no reportaron el iluminante empleado. El reporte del tipo de iluminante usado, cobra relevancia cuando se sabe que los valores de L^* , a^* y b^* pueden verse alterados por la fuente de luz del instrumento (Brewer *et al.*, 2001) limitando cualquier subsecuente comparación.

Apertura del observador

La apertura del observador varía de acuerdo al instrumento, desde 8 mm a más de 31.8 mm (Mancini and Hunt, 2005), aunque estos valores pueden ser superiores dependiendo del modelo y marca del instrumento de medición. Asociación Americana de Ciencia de la Carne (AMSA, 2012), recomienda usar la apertura más amplia que permita al menos 3 mediciones de la misma muestra. Para el caso de superficies de carne con apariencia irregular, con alto contenido de grasa intramuscular o tejido conectivo, se recomienda usar la apertura que cubra sólo el área de carne y realizar 2 mediciones y después promediarlas.

Se ha reportado que a medida que el tamaño de apertura del instrumento decrece, también decrecen los valores de CIE $L^*a^*b^*$ de la misma muestra. Igualmente a medida que el tamaño de apertura decrece, también disminuye la relación del valor de reflectancia a 630/580 nm (ratio 630/580 nm), parámetro que describe la decoloración de la carne. Lo anterior indica, que conforme el tamaño de la apertura decrece, la apariencia del músculo es menos roja y más decolorado (Yancey and Kropf, 2008; AMSA, 2012). Yancey and Kropf (2008) reportaron que los valores de L^* , a^* , b^* y C^* se redujeron conforme la apertura del puerto decreció usando los iluminantes A, C y D65. Usando iluminante A, h^* aumentó conforme la apertura del puerto decreció (menos rojo). En el caso de los iluminantes C y D65, h^* fue similar para 3 diferentes aperturas de puerto, pero se encontraron valores negativos de a^* con las 3 aperturas de puerto más pequeñas lo que sesgo los datos de h^* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de CIE L*, a*, b*, Hue e índice de saturación (C*) en LD de cerdo, con iluminantes A, C y D₆₅, usando 4 tamaños diferentes de apertura. Adaptado de: Yancey and Kropf (2008)

Iluminante		Tamaño de apertura (cm)			
		4.45	2.54	1.27	0.64
A	L*	54.77 ^a	53.81 ^a	51.16 ^b	46.02 ^c
	a*	21.60 ^a	18.95 ^b	13.70 ^c	7.69 ^d
	b*	19.45 ^a	17.73 ^b	14.00 ^c	8.95 ^d
	Hue angle	41.97 ^a	43.04 ^b	45.64 ^c	49.30 ^d
	Saturation index	29.08 ^a	25.96 ^b	19.60 ^c	11.81 ^d
C	L*	52.34 ^a	51.70 ^b	49.69 ^c	45.29 ^d
	a*	11.04 ^a	8.83 ^b	4.61 ^c	0.25 ^d
	b*	19.30 ^a	18.11 ^b	15.24 ^c	10.92 ^d
	Hue angle	60.26 ^a	64.09 ^a	73.56 ^c	11.45 ^b
	Saturation index	22.24 ^a	20.17 ^b	15.96 ^c	10.98 ^d
D ₆₅	L*	52.32 ^a	51.68 ^a	49.68 ^b	45.29 ^c
	a*	11.87 ^a	9.66 ^b	5.36 ^c	0.81 ^d
	b*	18.75 ^a	17.58 ^b	14.76 ^c	10.51 ^d
	Hue angle	57.69 ^a	61.30 ^a	70.44 ^a	20.42 ^b
	Saturation index	22.21 ^a	20.07 ^b	15.74 ^c	10.60 ^d

^{a,b,c,d} Las medias con diferente literal dentro de la misma fila son diferentes (P<0.05)

Cabe destacar que el uso estandarizado de las variables de la medición instrumental del color de la carne, permitirá que la evaluación del atributo y la comparación de los resultados sean más consistentes. De tal forma que durante la medición instrumental se debe establecer y reportar como mínimo: el instrumento de medición (marca y modelo), la fuente de iluminación, el tamaño de la apertura, el ángulo de observación, el número de lecturas tomadas por muestra y cuando se midan muestras de cortes frescos el tiempo de oxigenación (AMSA, 2012).

Diferencia total en color (ΔE^*_{ab})

La medición del color, dependiendo de la escala usada, es resultado de tres diferentes componentes tales como L^* , a^* y b^* (escala CIELAB). El cambio de color puede ser un indicador de la calidad de la carne. Estos cambios pueden ser estimados mediante la diferencia total en color (ΔE^*_{ab}).

Las diferencias en color (ΔE^*_{ab}) se calculan como la distancia Euclidiana entre dos puntos en un espacio tridimensional definido por L^* , a^* y b^* (Fernández-Vázquez *et al.*, 2013) y se calcula con la siguiente fórmula:

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

Se ha sugerido que con un ΔE^*_{ab} de alrededor de 1 unidad, 50% de los observadores no detectan las diferencias entre dos colores sólidos (Hill *et al.*, 1997; Larraín *et al.*, 2008). Valores de ΔE^*_{ab} de 0.9 a 1.57 unidades en carne de bovino, se consideran por debajo del umbral de detección para el ojo humano (Abril *et al.*, 2001; Larraín *et al.*, 2008). Mientras que con ΔE^*_{ab} de 1.5 y 3 unidades CIELAB son considerados umbrales de detección de diferencias de color en jugo de naranja y en vino tinto, respectivamente (Martínez *et al.*, 2001; Fernández-Vázquez *et al.*, 2013).

Con estos antecedentes se considera oportuno, que un patrón de evaluación visual del color cuente con un ΔE^*_{ab} de al menos 3 unidades CIELAB, con el objetivo de asegurar que las diferencias visuales sean perceptibles. Asimismo, el cálculo de ΔE^*_{ab} , puede ser empleado como una medida de control de calidad en el desarrollo de patrones de color, previa validación del mismo bajo condiciones comerciales (KONICA MINOLTA SENSING, 2003).

OBJETIVO

Generar un patrón de color, científicamente sustentado, que sea de utilidad en la evaluación subjetiva de la carne de cerdo mexicana.

JUSTIFICACIÓN

El color de la carne es un atributo de gran importancia económica, a pesar de ello, la industria porcícola mexicana carece de una herramienta sustentada científicamente en los datos del ganado nacional. Por esta razón, tanto empresas privadas como investigadores emplean con frecuencia patrones desarrollados en otros países, los cuales no son del todo aplicables a la carne de producción nacional. Lo anterior debido a que la producción de carne de cerdo en México no tiene condiciones equivalentes a las de otros países (sistemas de producción, manejo *post mortem*, genética, entre otros). Lo anterior evidencia la necesidad de desarrollar una herramienta factible de aplicar a escala nacional y que refleje de mejor manera la calidad de la carne de cerdo producida en el país. Adicionalmente, esta herramienta puede emplearse para la homologación de criterios de gradación de la carne por su color con el objetivo de facilitar el intercambio comercial.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estrategia general

En el período de enero a junio de 2013 fueron colectadas 1021 muestras de *Longissimus dorsi* (LD) de cerdo, para la evaluación subjetiva y objetiva del color. La toma de muestras se realizó en 4 establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF) ubicados en los estados de Guanajuato, Sonora y Yucatán, los que se encuentran entre los principales productores de carne de cerdo del país (Cortés *et al.*, 2011). Las lecturas se realizaron en canales de 24 h *post mortem*, las que posteriormente fueron trasladadas de las cámaras de refrigeración a la sala de

corte y deshuese, donde el LD era separado de las canales. Los lomos se agruparon y reubicaron en un área específicamente acondicionada para la medición (dentro de la sala de corte y deshuese). Una vez ahí, cada lomo con una temperatura $\leq 4^{\circ}\text{C}$, fue expuesto al aire por 30 minutos con el objetivo de llevar a cabo la oxigenación. Los lomos incluidos en la muestra, fueron lo que contaran con una superficie de corte homogénea y ausencia de hemorragias, específicamente en el área del ojo de la chuleta, punto específico donde se realizaron las mediciones.

Evaluación visual

Esta evaluación se realizó conforme a los lineamientos para la evaluación del color, emitidos por la Asociación Americana de Ciencia de la Carne (AMSA, 2012). Es decir, se empleó luz incandescente con temperatura del color de 3200K, provista por una lámpara de calidad fotográfica marca Osram, colocada en ángulo de 45° con respecto a las chuletas, con intensidad de 1614 luxes (150 candelas), valor que fue verificado antes de la evaluación mediante un fotómetro marca SEKONIC STUDIO DELUXE II, modelo L-398-M. El color de cada chuleta fue calificado con el patrón canadiense de color para carne de cerdo conformada por 7 categorías (Maignel *et al.*, 2012). El patrón de color canadiense, fue usado únicamente como orientación para facilitar la definición del número de categorías que tendría el patrón desarrollado en este trabajo.

Fotografía

Bajo las mismas condiciones descritas anteriormente para la evaluación visual, se tomó una fotografía de alta resolución de cada chuleta, con ayuda de un fotógrafo profesional. Para ello, se empleó una cámara Nikon D300S de 12 megapíxeles, con un lente Zoom de 24-70mm f.2.8 (f:apertura del diafragma) marca Sigma. En la toma de fotografías se empleó un fondo negro para eliminar diferencias de color asociadas con la superficie de la carne. El objetivo de las fotos fue contar con estándares fotográficos para ser incluidos posteriormente en el patrón visual.

Medición instrumental

Para la medición instrumental se empleó un espectrofotómetro Hunter MiniScan EZ modelo 4500 L, con geometría 45/0, configurado con iluminantes D65 y A, ángulo del observador a 10°, área del observador 25 mm, apertura de puerto 31.8 mm y componente especular excluido. El espectrofotómetro se comunicó con el software OnColor Match de Cyberchrome de Konica Minolta para la captura de los datos. La calibración del equipo se realizó antes de iniciar las mediciones y posteriormente, después de cada 100 mediciones o una hora (lo que ocurriera primero). Se registró el promedio de tres mediciones por muestra, excepto en las chuletas con mayor área muscular, en las que se promediaron cuatro lecturas. Los resultados fueron expresados en la escala triestímulo CIELAB, obteniendo los valores de L^* , a^* , b^* , C^* y h^* . Después de realizada la medición, cada lomo fue devuelto a la línea de proceso.

Formación de categorías de color

Dado que L^* es considerada como el mejor predictor de la apariencia visual de la carne de cerdo (Brewer *et al.*, 2001), la conformación de las categorías del patrón se basó en el análisis de esta variable. Para la definición de categorías se obtuvo el rango (valor máximo menos el mínimo), el cual fue dividido entre las 7 categorías de color esperadas (referencia patrón canadiense de color). El valor obtenido se usó como longitud del intervalo de clase. Al valor máximo de L^* se restó el intervalo de clase y así de manera sucesiva hasta obtener 6 categorías. Aunque el estándar Canadiense está conformado por 7 categorías, sólo se definieron 6 categorías para el patrón Mexicano puesto que la categoría más oscura (7) no se presentó en nuestras muestras.

Los resultados fueron analizados con el programa estadístico IBM SPSS Statistics, versión 21, mediante estadística descriptiva. Se calculó la media, desviación estándar e intervalos de confianza de la media de L^* al 95% de confianza en cada una de las categorías visuales. Posteriormente, se seleccionaron las fotos de las chuletas con una L^* promedio comprendida en el intervalo de confianza de la

media de cada categoría visual, eligiendo para el patrón aquellas que mejor se ajustaran a las diferencias visuales. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para detectar correlaciones entre las categorías visuales y las variables del color (L^* , a^* , b^* , C^* y h^*). Por último, se calculó ΔE^*_{ab} entre cada una de las categorías visuales para estimar si las diferencias en color eran perceptibles a simple vista.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las variables instrumentales del color

Las variables del color en la muestra utilizada para generar el patrón visual tuvieron una dispersión considerable (Cuadro 3). No obstante, L^* y h^* presentaron una distribución más amplia de los valores, con un rango del doble o más con respecto al resto de las variables.

Cuadro 3. Media, DE, mínimo, máximo y rango de las variables instrumentales del color L^* , a^* , b^* , C^* y h^* en las muestras analizadas de carne de cerdo (n=1021)

Variable	Media	DE ¹	Mínimo	Máximo	Rango
L^*	55.6	3.9	39.6	69.0	29.4
a^*	8.5	2.6	0.8	18.0	17.2
b^*	15.1	1.4	5.9	20.3	14.3
C^*	17.5	2.2	9.1	27.1	17.9
h^*	61.3	6.7	40.5	86.8	46.3

¹Desviación estándar

Una vez agrupadas las categorías visuales (procedimiento que se describe en la sección de material y métodos), se observa que los valores de L^* y h^* tuvieron un comportamiento similar y describieron la tendencia del color de más pálido a más oscura. El resto de las variables presentó diferencias numéricas mínimas (a^* , b^*), e incluso un comportamiento errático con respecto a la categoría de color (C^*) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Media \pm desviación estándar de la variables del color (L^* , a^* , b^* , h^* y C^*) en cada una de las categorías visuales del patrón para la evaluación del color de lomo de cerdo (n=1021)

Categoría visual	L^*	a^*	b^*	h^*	C^*
1	62.7 \pm 1.5	6.5 \pm 2.4	15.8 \pm 1.9	67.9 \pm 6.6	17.2 \pm 2.5
2	58.7 \pm 1.1	7.1 \pm 2.2	15.4 \pm 1.4	65.8 \pm 5.1	17.0 \pm 2.1
3	55.1 \pm 1.1	8.7 \pm 2.3	15.2 \pm 1.3	60.9 \pm 4.7	17.6 \pm 2.2
4	51.8 \pm 0.8	10.0 \pm 2.1	14.8 \pm 1.2	56.4 \pm 4.1	17.9 \pm 2.1
5	48.7 \pm 1.0	11.7 \pm 1.2	14.6 \pm 1.2	51.7 \pm 3.1	18.8 \pm 2.1
6	44.2 \pm 2.2	13.16 \pm 2.1	13.5 \pm 1.2	46.0 \pm 4.0	18.9 \pm 2.0

El intervalo de confianza al 95% de la media de L^* fluctuó entre 42.9 y 63 (Cuadro 5), para las categorías extremas del patrón (carne oscura y carne muy pálida, respectivamente).

Cuadro 5. Intervalo de confianza al 95% para la media de L^* , para cada categoría visual del patrón de color desarrollado en lomo de cerdo

Categoría	n	IC ¹
1	76	62.4-63.0
2	300	58.6-58.9
3	390	55.0-55.3
4	182	51.7-51.9
5	58	48.4-48.9
6	15	42.9-45.4

¹ Intervalo de confianza de la media al 95%

No es el objetivo del presente trabajo que la carta de color (o los intervalos de confianza al 95% para la media de L*) se usen como únicos criterios para detectar la presencia de defectos en la carne (ej. PSE y DFD). Sin embargo, debe considerarse que varios autores coinciden en la correlación de L* con otros atributos de calidad, tales como el pH (Hamilton *et al.*, 2003; Alonso *et al.*, 2010), las pérdidas por goteo (Alonso *et al.*, 2010), rendimiento a la cocción (Norman *et al.*, 2003) y la aceptabilidad general por el consumidor (Nam *et al.*, 2009). De tal forma que los resultados de este trabajo pueden ser de gran ayuda en la segregación de las categorías de calidad defectuosas. Por otra parte, se tiene la ventaja de haber desarrollado las categorías visuales a partir de variables instrumentales (L*), de modo que los establecimientos que tengan la posibilidad de realizar mediciones objetivas pueden hacer uso de los intervalos de confianza aquí reportados, con el fin de clasificar la carne según su calidad.

Correlaciones de las variables instrumentales y las categorías visuales

A pesar de que el patrón fue definido con base en la media de L*, las correlaciones de las demás variables instrumentales con la categoría visual también fue significativa, aunque lógicamente de menor magnitud (Cuadro 6).

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre las variables instrumentales del color (L*, a*, b*, C*, h*) y categoría visual del patrón de color desarrollado en lomo de cerdo

	L*	a*	b*	C*	h*	Categoría
L*	1	-0.577**	0.238**	-0.216**	0.723**	-0.957**
a*			0.550**	0.891**	-0.948**	0.555**
b*				0.864**	-0.286**	-0.239**
C*					-0.711**	0.204**
h*						-0.699**

**P<0.01

n=1021

En este estudio se corrobora la relación significativa reportada por otros autores entre L^* y la apariencia visual de la carne ($r=-0.957$, $P<0.01$). No obstante, la magnitud de la relación en este patrón fue mucho más alta que la observada en trabajos previos, Van Oeckel *et al.* (1999) $r=-0.822$, (Brewer *et al.*, 2001) $r=-0.89$, pues la definición de las categorías visuales se realizó con base en L^* .

La correlación entre L^* y h^* ($r=0.723$, $p<0.01$) marca la tendencia que siguen las categorías del patrón. A medida que la categoría aumenta su valor nominal (1 a 6), la luminosidad disminuye y el color se vuelve más rojo (h^* se acerca a 45°). Este hallazgo coincide con los resultados de otros autores, quienes reportan una correlación altamente significativa entre L^* y h^* , $r=0.700$ (Norman *et al.*, 2003) y $r=0.75$ (Van Oeckel *et al.*, 1999). Norman *et al.* (2003) reportó, que la carne de la categoría más oscura tiene un rendimiento a la cocción 3.4% mayor que la carne de la categoría más pálida, así como mayor aceptabilidad por los consumidores. La correlación de L^* con a^* y b^* coincide con lo reportado por otros autores (Van Oeckel *et al.*, 1999; Norman *et al.*, 2003).

*Diferencia total en color ΔE^*_{ab}*

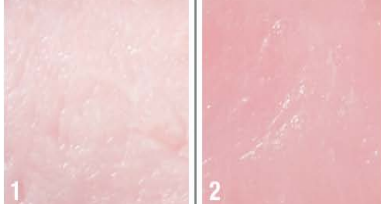
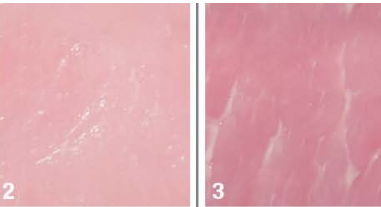
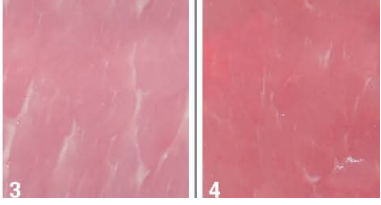
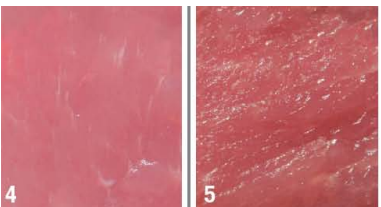
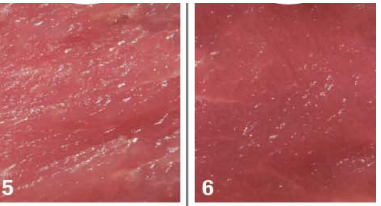
La evaluación preliminar de la calidad del patrón por medio de la diferencia total de color (ΔE^*_{ab}) entre las categorías visuales, dio como resultado un promedio de 3.95 unidades CIELAB al pasar de manera progresiva de una categoría a otra. Al respecto se denotan las claras diferencias entre cada una de las categorías (Cuadro 7).

Varios autores han reportado que un ΔE^*_{ab} por debajo de 1.6 unidades CIELAB, para el caso específico de carne de bovino no es suficiente para ser detectado por el ojo humano (Hill *et al.*, 1997; Abril *et al.*, 2001; Larraín *et al.*, 2008) lo anterior debido a la naturaleza heterogénea de la carne. Mientras que para otros productos (jugo de naranja y vino tinto), los umbrales de detección están por arriba de 1.5 unidades CIELAB (Martínez *et al.*, 2001; Fernández-Vázquez *et al.*, 2013).

Otro estudio (Stokes *et al.*, 1992) realizado en imágenes modificadas de color, reportó un umbral medio de detección de diferencia de color de 2.15 (entre 1.57 y 2.56), magnitud al menos dos veces mayor a la tolerancia perceptible para colores sólidos.

Cabe señalar que las diferencias de color observadas entre las categorías del patrón desarrollado en este trabajo, son superiores a las reportadas en los trabajos antes referidos. Estos valores de ΔE^*_{ab} sugieren que el patrón puede ser usado para la evaluación subjetiva del color de la carne de cerdo, pues las diferencias de color entre cada una de las categorías pueden ser observadas por el ojo humano. No obstante, la validación del mismo debe realizarse para corroborar su efectividad.

Cuadro 7. Diferencia total de color ΔE^*_{ab} entre pares consecutivos de las categorías visuales del patrón de color desarrollado en lomo de cerdo

Pares de categorías	ΔE^*_{ab}
	4.06
	3.94
	3.57
	3.54
	4.64

Presentación del patrón para la evaluación del color de la carne de cerdo en México

La escala de color obtenida en el presente trabajo está conformada por 6 categorías o clases (Figura 13). Las dos primeras describen la carne muy pálida o pálida (categorías 1 y 2, respectivamente); mientras que la 5 y la 6 son representativas de carne oscura. El resto de las clases ejemplifica las tonalidades intermedias, asociadas con carne de calidad normal. Cabe destacar que aun cuando se emplearon tanto el iluminante A como el D65, fue este último el que mejor describió las diferencias de color y a partir del cual se desarrolló el patrón.

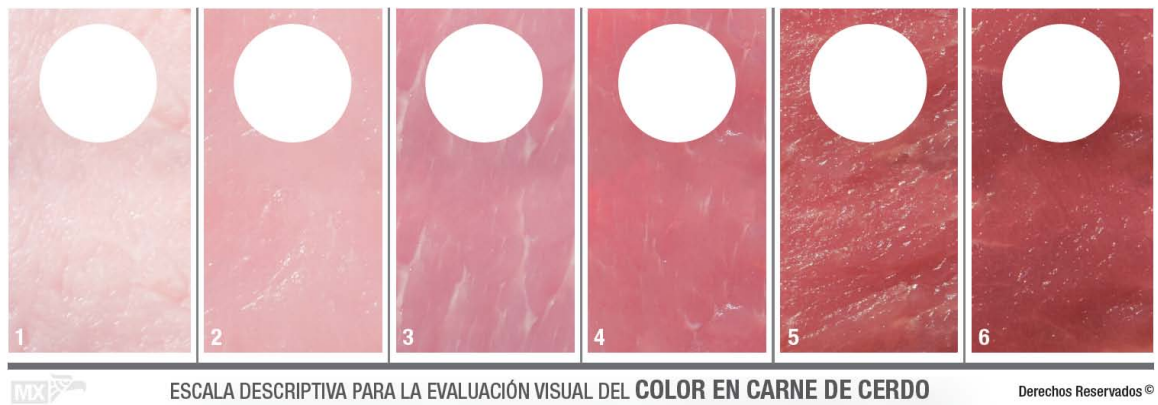


Figura 13. Patrón fotográfico para la evaluación del color en carne de cerdo

El intervalo de L^* para carne de calidad normal definido en este patrón (47-57), es muy cercano al reportado por otros autores (Warner *et al.*, 1993; Van Oeckel *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2000; Van Oeckel and Warnants, 2003; Alarcón *et al.*, 2005; Warris *et al.*, 2006; Castro-Giráldez *et al.*, 2010). Bajo las condiciones de este ensayo, alrededor del 60% de las muestras analizadas corresponden con el grupo de calidad RFN (categorías 3, 4 y 5).

Esta incidencia es considerablemente menor a la reportada por Alarcón *et al.* (2005), quienes reportan una incidencia de carne de calidad normal alrededor del 80% (n=1099). Dicho estudio evaluó la incidencia de los defectos PSE, Normal y DFD en músculo *Semimembranosus* (SM), en cerdos provenientes de granjas

tecnificadas y no tecnificadas del bajío mexicano. La diferencia en cuanto a la incidencia entre ambos estudios, puede explicarse debido a la variación en el origen (bajío mexicano), genética, manejo *ante y post mortem*, así como a las diferencias en los músculos evaluados (SM y LD). No obstante se destaca la coincidencia en el intervalo de L^* para la definición del grupo de carne de calidad normal.

En lo que se refiere al valor de corte de L^* para detectar la presencia del defecto PSE (≥ 61), este corresponde con lo reportado en algunos otros trabajos. Van Oeckel *et al.* (1999) reportan una media de $L^*=60.4$ para PSE ligero y $L^*=66.5$ para PSE extremo. Los mismos autores (2003), reportan $L^*=61.3$ para PSE ligero, mientras que Warris (2000) describió carne PSE con $L^*=61$. La categoría 1 de este patrón tiene un valor de $L^*>61$, por lo que se considera que para el caso de este ensayo, alrededor del 7% de las muestras tuvo valores típicos de carne PSE. Al respecto, Alarcón *et al.* (2005) reportan una incidencia de PSE alrededor del 3% en canales de cerdo, considerando como punto de corte $L^*>57$ y $pH_{45}\leq 5.9$.

El SIAP-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2014) reportó que la producción en México durante el 2013, fue de 1'283,672 toneladas de carne de cerdo en canal, obtenidas a partir del sacrificio de 16,818,454 cabezas de cerdo, con un peso aproximado por canal de 76 kg y precio de \$35.35 pesos/kg. Stetzer *et al.* (2003) citado por Boler *et al.* (2010), reportaron una pérdida de \$0.90 USD por cada cabeza sacrificada, debido al defecto PSE (aproximadamente \$13.50 pesos, al tipo de cambio actual). Si los resultados de este ensayo pudieran extrapolarse a las condiciones de producción nacional y únicamente como ejercicio de predicción, la pérdida en carne de cerdo con defecto de calidad PSE generaría pérdidas potenciales superiores a los \$227 millones de pesos.

Si se compara la categoría 2 con la 1, la diferencia en color es fácilmente detectable ($\Delta E^*_{ab} = 4.06$). El color pálido de la categoría 2 se considera un

defecto de calidad, puesto que los consumidores rechazan esta apariencia. Sin embargo, el intervalo de confianza para L^* (58.6-58.9) puede considerarse como normal (Van Oeckel *et al.*, 1999; Van Oeckel and Warnants, 2003; Warris *et al.*, 2006), o como PSE (Castro-Giráldez *et al.*, 2010), según los autores consultados. Algunos investigadores señalan que la presencia del gen RN⁻, condiciona la marcada palidez del color de la carne y la baja capacidad de retención de agua (Lebret *et al.*, 1999; Rosenvold and Andersen, 2003), pero no determina la aparición del defecto PSE (Warris, 2000; Lindahl *et al.*, 2006a). No obstante, un estudio (Camacho *et al.*, 2014) reporta que la frecuencia del genotipo RN⁻ en muestras (n=433) de rastros mexicanos es de 0.002 por lo que la presentación del defecto carne ácida no parece ser atribuible a la presencia del genotipo RN⁻ en cerdos sacrificados en México. Alrededor del 29% de las muestras en este ensayo se ubican en la categoría 2, por lo que la definición del grupo de calidad al que pertenece representa un valor importante.

Una de las posibles causas de la marcada palidez de la carne de la categoría 2, puede estar relacionada con el lento enfriamiento de la carne de cerdo en México, lo que coincide con lo reportado por Warris (2000). Se ha reportado que mantener una alta temperatura (>30°C) durante el desarrollo del *rigor mortis*, puede promover carne PSE en canales que en condiciones óptimas de enfriamiento no serían susceptibles (Warris, 2000). Este mismo autor señala que el enfriamiento rápido puede reducir la incidencia de PSE, al aumentar la capacidad de retención de agua y mejorar el color de la carne. Sin embargo, Tomović *et al.* (2008) no encontraron diferencias significativas en los valores de L^* , medidos en músculo SM, al comparar enfriamiento convencional con enfriamiento rápido, lo que coincide con lo reportado por Hambrecht *et al.* (2003), al comparar el efecto de diferentes sistemas de enfriamiento en músculo LD. Lo anterior puede estar explicado por las variaciones en los eventos previos al sacrificio que condicionan estrés y su efecto en el metabolismo muscular de diferentes tipos de músculos (Warris, 2000).

Para el caso del defecto DFD se consideró como valor de corte $L^* \leq 46$, el cual es muy cercano a lo reportado por Warris *et al.* (2006) $L^* = 45.5$ y Warner *et al.* (1993) $L^* < 47$. Autores como Castro-Giráldez *et al.* (2010) establecen un punto de corte para DFD $L^* < 50$, cercano a la media reportada por Van Oeckel *et al.* (1999) $L^* = 52.9$. El trabajo de Castro-Giráldez *et al.* (2010) evaluó el color en LD, con una genética muy específica (Landrace X duroc), asimismo este trabajo no reporta el área del observador, ni el tipo de geometría del instrumento de medición, el tiempo de oxigenación empleado fue de 1:30 minutos. El trabajo de Van Oeckel *et al.* (1999), fue realizado en músculo *Longissimus thoracis* entre la tercera y cuarta costilla, los genotipos empleados fueron Piétrain X Belgian Landrace, Piétrain X Seghers hybrid y Piétrain X Large White, no reporta la temperatura de la carne al momento de la medición, ni área del observador. Los valores de corte para carne DFD de los autores antes citados resultan considerablemente altos con respecto a los siguientes: $L^* = 39.2$ y $L^* = 42.7$ (Van der Wal *et al.*, 1988; Lee *et al.*, 2000). Lee *et al.* (2000) emplean 10 minutos oxigenación, diferente marca de instrumento con geometría difusa, no reporta iluminante y 8 mm de apertura de puerto. Van der Wal *et al.* (1988) no reportan tiempo de oxigenación, geometría del instrumento y área del observador.

Las diferencias en los valores de L^* de los distintos autores citados, pueden deberse a las disímiles condiciones en las que se realizó la medición instrumental. Por otra parte, se ha sugerido que las diferencias en las condiciones ambientales *ante mortem* (transporte, época del año, tipo de matadero, tiempo ayuno, etc.) afectan significativamente el riesgo de presentación del defecto y su grado (DFD de moderado a serio) (Guàrdia *et al.*, 2005).

Al respecto y de acuerdo al valor de L^* (< 43), 1.5% de las muestras de este ensayo se ubicarían dentro de la categoría 6, la cual se asocia con la presencia del defecto DFD. Esta incidencia es considerablemente menor a la reportada por Guàrdia *et al.* (2005) de 17.4%, del cual 6.9% se clasificó como DFD grave ($n=15,695$). Este estudio se realizó en 5 mataderos comerciales, los cuales

sacrifican aproximadamente el 10% de la población de cerdos en España y se emplea únicamente el pH final del músculo SM, como parámetro de referencia para la definición de carne DFD. Alarcón *et al.* (2005) reporta una incidencia de DFD alrededor del 16%. En este estudio la presencia del defecto es asociada al tiempo de descanso (18-24 horas) en los corrales de espera previo al sacrificio.

Al respecto, la baja incidencia de DFD asociada al patrón de color desarrollado en este trabajo, puede deberse a que los mataderos donde se realizó el muestreo en su mayoría cuentan con una integración vertical de la cadena, por lo que los cerdos realizan viajes cortos, efecto que reduce la presentación de estrés crónico. Aun así, la incidencia aparentemente baja podría generar pérdidas cuantiosas. Un estudio realizado en México (Leyva-García *et al.*, 2012), reporta que la pérdida asociada al defecto DFD es de alrededor del 10% del precio total de la canal de bovino. Si realizamos nuevamente el ejercicio de predicción, la pérdida en carne de cerdo con defecto de calidad (considerando 10% del valor de la canal) sería de alrededor de \$270 pesos por canal. De esta forma, la carne DFD (1.5% de incidencia), provendría de un estimado de 252,276 canales y generaría pérdidas potenciales superiores a los \$68 millones de pesos.

Por lo anterior y debido a que los defectos de calidad en la carne de cerdo pueden representar pérdidas millonarias a escala industrial, resulta estratégica la posibilidad de identificar este tipo de carne. En este sentido, el patrón visual puede ser una herramienta de gran utilidad.

Por lo general las variables instrumentales del color no se utilizan por sí solas para identificar defectos de calidad. Lo anterior se debe, en parte, a que las investigaciones en materia de evaluación del color en carne de cerdo muestran amplias variaciones respecto a los valores de L^* para carne PSE, DFD y RFN. Esto se debe a que algunos autores omiten reportar las condiciones de evaluación instrumental del color, que con frecuencia son disímiles (Mancini and Hunt, 2005). A su vez, ello dificulta la comparación y repetitividad de los resultados. Varios

autores señalan que hay alteraciones importantes en las variables CIELAB cuando se comparan distintas condiciones de medición. Tal es el caso de la apertura del puerto del instrumento (Yancey and Kropf, 2008) o el uso de colorímetros o espectrofotómetros (Brewer *et al.*, 2006). En lo referente al tiempo de oxigenación, se ha reportado que afecta significativamente todas las variables instrumentales (a^* , b^* , C^* y h^*), excepto L^* (Brewer *et al.*, 2001; Škrlep and Čandek-Potokar, 2007). Con estos antecedentes, se denota que una de las dificultades en cuanto a la definición de criterios de calidad del color de carne de cerdo, es el uso indistinto de las condiciones de medición instrumental.

Los resultados de este trabajo y su análisis en relación con investigaciones previas sugieren que las categorías 1 y 6 pueden ser empleadas en la práctica industrial como punto de referencia para la detección de los defectos de calidad PSE y DFD. Lo anterior debido a que valores los de L^* obtenidos en este patrón se consideran representativos de las condiciones extremas de calidad en músculo LD. No obstante, la validación de este patrón a nivel comercial es imprescindible a fin de corroborar que describe de manera correcta el color de la carne de cerdo, así como la correlación de las categorías visuales con otros atributos de calidad.

Por otra parte, el empleo de esta escala subjetiva debe realizarse bajo condiciones equivalentes a las empleadas para su desarrollo. Esto incluye la oxigenación de la carne fresca por lo menos 30 minutos antes de la evaluación del color, la cual debe hacerse bajo una fuente de iluminación con temperatura de 3200K, intensidad de luz de 150 candelas (1614 luxes) en muestras de lomo a $\leq 4^{\circ}\text{C}$ (AMSA, 2012). Dado que se trata de una escala descriptiva, la reproducción física del patrón requiere una impresión profesional, y debe usarse únicamente con personal entrenado como orientación para la segregación de la carne por su calidad y no en pruebas para definir la aceptabilidad del producto por los consumidores.

El patrón de color desarrollado en este trabajo, cuenta con el mismo número de categorías (6) que los patrones japonés y estadounidense y difiere del patrón canadiense que tiene 7 categorías. Al respecto debe señalarse que la categoría más oscura del patrón canadiense (usado como referencia en la evaluación visual), no se presentó dentro de las muestras de este ensayo. El uso de estándares fotográficos para la elaboración del patrón, coincide con el patrón estadounidense y japonés, y se diferencia del canadiense, puesto que este emplea colores sólidos. Se ha sugerido que el uso de patrones de color sólido en la evaluación subjetiva de la carne, podría comprometer la percepción del color. Lo anterior debido a que el ojo humano percibe además del color, la geometría del objeto (Girolami *et al.*, 2013). Al respecto los estándares fotográficos conservan estas dos propiedades de la carne.

Según lo reportado por Ryan *et al.* (2010) los valores medios de L^* de las categorías 2, 3 y 4 del patrón japonés de color, son muy cercanas al valor de L^* de las categorías 4, 5 y 6 del patrón desarrollado en este trabajo. Al respecto, el presente patrón no tiene la representatividad de carne de color tan oscuro como el patrón japonés. Sin embargo las 3 categorías más pálidas del patrón desarrollado en este estudio, no quedan incluidas dentro del patrón japonés. No obstante, es importante considerar que la medición instrumental del trabajo de Ryan *et al.* (2010), fue realizada bajo condiciones muy diferentes a las del presente patrón, entre las que destacan marca y tipo de instrumento, iluminante, ángulo del observador y apertura de puerto, lo que podría estar influenciando las diferencias entre ambos estudios.

Es importante considerar que las condiciones de refrigeración, la velocidad de la línea de proceso, la genética animal, el manejo *ante mortem* entre otros, son factores que difieren entre establecimientos y entre países. Los factores antes mencionados influyen en la calidad final de la carne y por ende en el color, de ahí que se considera vital contar con un patrón de evaluación subjetiva del color, basado en los datos de la producción porcina nacional.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido generar un patrón, científicamente sustentado, para la evaluación del color de la carne de cerdo en México. Este puede emplearse como parte de los sistemas de gradación de canales o para la segregación de cortes según su calidad. Además, tiene como fortaleza el haber sido creado a partir de mediciones instrumentales y de datos provenientes del ganado porcino nacional. Aunque las diferencias totales de color entre las categorías visuales propuestas es amplio, el patrón debe ser validado a escala industrial y empleado bajo condiciones equivalentes a las utilizadas para su desarrollo.

REFERENCIAS

ABRIL, M., CAMPO, M., ÖNEN, A., SAÑUDO, C., ALBERTÍ, P. & NEGUERUELA, A. 2001. Beef colour evaluation as a function of ultimate pH. *Meat Science*, 58, 69-78.

ALARCÓN, R., ALMA DELIA, DUARTE, A., JESÚS OCTAVIO, RODRÍGUEZ, A., FELIPE ALONSO & JANACUA, V., HÉCTOR 2005. Incidencia de carne pálida-suave-exudativa (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Técnica Pecuaria en México*.

ALONSO, V., CAMPO, M., PROVINCIAL, L., RONCALÉS, P. & BELTRÁN, J. 2010. Effect of protein level in commercial diets on pork meat quality. *Meat Science*, 85, 7-14.

AMSA 2012. *AMSA. Meat color measurement guidelines*, Champaign, Illinois USA, American Meat Science Association.

BARBIN, D., ELMASRY, G. & SUN DA-WEN, A. P. 2012. Near infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork. *Meat Science*, 90, 259-268.

BARBUT, S., SOSNICKI, A., LONERGAN, S., KNAPP, T., CIOBANU, D., GATCLIFFE, L., HUFF-LONERGAN, E. & WILSON, E. 2008. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science*, 2008, 46-63.

BENDAHL, L., GRUNERT, K. G. & FERTIN, C. 1998. Relating consumer perceptions of pork quality to physical characteristics. *Food Quality and Preference*, 9, 273-281.

BOLER, D., DILGER, A., BIDNER, B., CARR, S., EGGERT, J., DAY, J., ELLIS, M., MCKEITH, F. & KILLEFER, J. 2010. Ultimate pH explains variation in pork quality traits. *Journal of Muscle Foods*, 21, 119-130.

BREWER, M. S., JENSEN, J., SOSNICKI, A. A., FIELDS, B., WILSON, E. & MCKEITH, F. K. 2002. The effect of pig genetics on palatability, color and physical characteristics of fresh pork loin chops. *Meat Sci*, 61, 249-56.

BREWER, M. S., NOVAKOFSKI, J. & FREISE, K. 2006. Instrumental evaluation of pH effects on ability of pork chops to bloom. *Meat Sci*, 72, 596-602.

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.

CAMACHO, R. M., ARECHAVALETA, V. M., BRAÑA, V. D. & RAMÍREZ, R. F. 2014. Factores genéticos que influyen en la calidad de la carne de cerdo. *Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP*.

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. *Food Science and Technology*, 45, 1710-1716.

CHANNON, H. A., PAYNE, A. M. & WARNER, R. D. 2002. Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Science*, 60, 63-68.

CHEREL, P., GLÉNISSON, J., FIGWER, P., PIRES, J., DAMON, M., FRANCK, M. & LE ROY, P. 2010. Updated estimates of HAL n and RN- effects on pork quality: Fresh and processed loin and ham. *Meat Science*, 86, 949-954.

CORTÉS, T. G. F., MORA, F. J. S., GARCÍA, M. R. & RAMÍREZ, V. G. 2011. Estudio del consumo de la carne de cerdo en la zona metropolitana del Valle de México. *Estudios Sociales*. Mexico DF.: Coordinación de Desarrollo Regional del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Asociación Civil (CIAD, A.C.).

FERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, R., STINCO, C. M., HERNANZ, D., HEREDIA, F. J. & VICARIO, I. M. 2013. Colour training and colour differences thresholds in orange juice. *Food Quality and Preference*, 30, 320-327.

GENTRY, J. G., MCGLONE, J. J., MILLER, M. F. & BLANTON, J. R. 2004. Environmental effects on pig performance, meat quality, and muscle characteristics. *Journal of animal Science*, 82, 209-217.

GIROLAMI, A., NAPOLITANO, F., FARAONE, D. & BRAGHERI, A. 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*, 93, 111-118.

GUÀRDIA, M., ESTANY, J., BALASCH, S., OLIVER, M., GISPERT, M. & DIESTRE, A. 2005. Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions in pigs. *Meat Science*, 70, 709-716.

HAMBRECHT, E., EISSEN, J. J., NEWMAN, D. J., SMITS, C. H., DEN HARTOG, L. A. & VERSTEGEN, M. W. 2005. Negative effects of stress immediately before slaughter on pork quality are aggravated by suboptical transport and lairage conditions. *Journal of Animal Science* 83, 440-448.

HAMBRECHT, E., EISSEN, J. J. & VERSTEGEN, M. W. 2003. Effect of processing plant on pork quality. *Meat Science*, 64, 125-131.

HAMILTON, D., MILLER, K., ELLIS, M., MCKEITH, F. & WILSON, E. 2003. Relationships between longissimus glycolitic potential and swine growth performance, carcass traits and pork quality. *Journal of Animal Science*, 81, 2206-2212.

HILL, B., ROGER, T. & VORHAGEN, F. W. 1997. Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula. *ACM Transactions on Graphics*, 16, 109-154.

HUNTERLAB. 2013. *Color versus appearance* [Online]. Available: <https://translate.google.com.mx/?hl=es&tab=wT#en/es/generic>.

KING, D. A., SHACKELFORD, S. D. & WHEELER, T. L. 2011. Use of visible and near-infrared spectroscopy to predict pork longissimus lean color stability. *Journal of Animal Science*, 89, 4195-4206.

KLONT, R. E., BROCKS, L. & EIKELENBOOM, G. 1998. Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, 49, 219-229.

KOĆWIN-POSIADŁA, M., KREZĘCIO, E. & PRZYBYLSKI, W. 2006. Pork quality and methods of its evaluation- a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 15, 241-248.

KONICA MINOLTA SENSING, I. 2003. *Comunicación precisa de los colores* [Online]. Available: <http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part3/01.html> 2014].

LARRAÍN, R. E., SCHAEFER, D. M. & REED, J. D. 2008. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International*, 41, 380-385.

LEBRET, B., LE ROY, P., MONIN, G., LEFAUCHEUR, L., CARITEZ, J. C., TALMANT, A., ELSEN, J. M. & SELLIER, P. 1999. Influence of three RN genotypes on chemical composition enzyme activities, and myofiber characteristics of porcine skeletal muscle. *Journal of animal Science*, 77, 1482-1489.

LEE, S., NORMAN, J., GUNASEKARAN, S., VAN LAACK, R., KIM, B. & KAUFFMAN, R. 2000. Use of electrical conductivity to predict water holding capacity in post rigor pork. *Meat Science*, 55, 385-389.

LEYVA-GARCÍA, I. A., FIGUEROA-SAAVEDRA, F., SÁNCHEZ-LÓPEZ, E., PÉREZ-LINARES, C. & BARRERAS-SERRANO, A. 2012. Impacto económico de la presencia de carne DFD en planta de sacrificio Tipo Inspección Federal (TIF). *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44, 39-42.

LINDAHL, G. 2005. *Colour characteristics of fresh pork*. PhD Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.

LINDAHL, G., ENFÄLT, A. C., ANDERSEN, H. J. & LUNDSTRÖM, K. 2006a. Impact of RN genotype and ageing time on colour characteristics of the pork muscles longissimus dorsi and semimembranosus. *Meat Sci*, 74, 746-755.

LINDAHL, G., LUNDSTRÖM, K. & TORNBERG, E. 2001. Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Sci*, 59, 141-151.

LINDAHL, G., YOUNG, J., OKSBJERG, N. & ANDERSEN, H. J. 2006b. Influence of dietary creatine monohydrate and carcass cooling rate on colour characteristics of pork loin from different pure breeds. *Meat Science*, 72, 624-634.

MAIGNEL, L., FORTIER, M.-P., LAMBERT, P., RIENDEAU, L., WYSS, S. & SULLIVAN, B. 2012. Defining carcass and meat quality standards for canadian pork meat colour. *58th International Congress of Meat Science and Technology*. Montreal, Canada.

MANCINI, R. A. & HUNT, M. C. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.

MARTÍNEZ, J. A., MELGOSA, M., PÉREZ, M. M., HITTA, E. & NEGUERUELA, A. I. 2001. *Food Science and Technology International*, 7, 439-444.

MURRAY, A. C. 1995. *The evaluation of muscle quality. In quality and grading of carcasses of meat animals*, New York, CRC Press.

NAM, Y. J., CHOI, Y. M., LEE, S. H., CHOE, J. H., JEONG, D. W., KIM, Y. Y. & KIM, B. C. 2009. Sensory evaluations of porcine longissimus dorsi muscle: Relationships with postmortem meat quality traits and muscle fiber characteristics. *Meat Sci*, 83, 731-736.

NEWCOM, D. W., STALDER, K. J., BAAS, T. J., GOODWIN, R. N., PARRISH, F. C. & WIEGAND, B. R. 2004. Breed differences and genetic parameters of myoglobin concentration in porcine longissimus muscle. *Journal of Animal Science* 82, 2264-2268.

NORMAN, J. L., BERG, E. P., HEYMANN, H. & LORENZEN, C. L. 2003. Pork loin color relative to sensory and instrumental tenderness and consumer acceptance. *Meat Science*, 65, 927-933.

ORDWAY, G. A. & DANIEL, J. G. 2004. Myoglobin: an essential hemoprotein in striated muscle. *Journal of Experimental Biology*, 207, 516-521.

RANKEN, M. D. 2003. Manual de industrias de la carne. *In: AMD EDICIONES*, M. P. (ed.).

- ROMANS, J. R., COSTELLO, E. J., CARLSON, C. W., GREASER, M. L. & JONES, K. W. 2001. The meat we eat. *In: PUBLISHERS, I. U. I. (ed.)*.
- ROSENVOLD, K. & ANDERSEN, H. J. 2003. Factors of significance for pork quality - a review *Meat Science*, 64, 219-237.
- RYAN, S., UNRUH, J., ADHIKARI, K., HUNT, M., KASTER, C. & MATTHEWS, J. 2010. Prediction of japanese color score. *Meat Science*, 84, 165-171.
- SENSING, K. M. 2007. Precise color communication. Color control from perception to instrumentation.
- SIAP-SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA, M. 2014. Resumen Nacional. Producción, precio, valor, animales sacrificados y peso 2013. México D.F.: Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- ŠKRLEP, M. & ČANDEK-POTOKAR, M. 2007. Pork color measurements as affected by bloom time and measurement location. *Journal of Muscle Foods*, 18, 78-87.
- STOKES, M., M.D., F. & BERNS, R. S. 1992. Precision requirements for digital color reproduction. *ACM Transactions on Graphics*, 11, 406-422.
- SWATLAND, H. J. 1993. Explaining the P in PSE. *Meat Focus International*. CAB International.
- TAN, F. J., MORGAN, M. T., LUDAS, L. I., FORREST, J. C. & GERRARD, D. E. 2000. Assessment of fresh pork color with color machine vision. *Journal of Animal Science*, 78, 3078-3085.
- TAPP, W. N., YANCEY, J. W. & APPLE, J. K. 2011. How is the instrumental color of meat measured? *Meat Science*, 89, 1-5.
- TOMOVIĆ, V., PETROVIĆ, L. & DŽINIĆ, N. 2008. Effects of rapid chilling of carcasses and time of deboning on weight loss and technological quality of pork semimembranosus muscle. *Meat Science*, 80, 1188-1193.
- VAN DER WAL, P., BOLINK, A. & MERKUS, G. 1988. Differences in quality characteristics of normal, PSE and DFD pork. *Meat Science*, 24, 79-84.
- VAN OECKEL, M. J. & WARNANTS, N. 2003. Variation of the sensory quality within the m. longissimus thoracis et lumborum of PSE and normal pork. *Meat Science*, 63, 293-299.

VAN OECKEL, M. J., WARNANTS, N. & BOUCQUÉ, C. V. 1999. Measurement and prediction of pork colour. *Meat Science*, 52, 347-354.

VELARDE, A., GISPERT, M., FAUCITANO, L., MANTECA, X. & DIESTRE, A. 2000. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Science*, 55, 309-314.

WARNER, R., KAUFFMAN, R. & RUSSELL, R. 1993. Quality attributes of major porcine muscles: a comparison with the Longissimus lumborum. *Meat Science*, 33, 359-372.

WARRIS 2000. *Meat science. An introductory text*, Bristol, UK, CABI Publishing

WARRIS, 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.

YANCEY, J. W. S. & KROPF, D. H. 2008. Instrumental reflectance values of fresh pork are dependant in aperture size. *Meat Science*, 79, 734-739.