



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

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

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

SARA SALINAS LABRA

TUTOR: M.C.ENRIQUE J. DELGADO SUÁREZ, FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA

COMITÉ TUTORAL:

DRA. MARÍA SALUD RUBIO LOZANO, FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA; DR. DIEGO BRAÑA VARELA,
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL
DANILO MÉNDEZ MEDINA, FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA

MÉXICO, D.F. FEBRERO 2014



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 mi hijo, Leonardo, por ser el motor de cada día.

A mis padres Felix Labra e Hipólito Salinas; mis hermanos Araceli y Diego; así como a la Sra. Gladys del Carmen Cifuentes. Sin su apoyo no habría sido posible ser mamá y estudiante de maestría.

Agradecimientos

Universidad Nacional Autónoma de México y 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.

M.C. Enrique J. Delgado Suárez, las palabras no alcanzan para agradecer el haber creído en mí, por la confianza, la dedicación y la enorme paciencia.

Comité Tutoral, Dra. María Salud Rubio Lozano, Dr. Diego Braña Varela y Dr. Danilo Méndez Medina. Por el apoyo, el tiempo y los excelentes consejos.

H. Jurado: Dra. Ofelia Mora Izaguirre, Dra. María Pilar Castañeda Serrano, Dra. Edith Ponce Alquicira, M.C. Francisca Aida Iturbe Chiñas. Por su invaluable tiempo y aportación.

Dr. Melvin C. Hunt y Víctor Leor.

Armando Betancourt, Ing. Juan Alberto Amaro Andrade, MVZ Héctor Manuel Rodríguez Gómez, Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón, MVZ Bacilio Javier Treviño Diosdado, C.P. Héctor Montañón Haro, Maritza Liliana Ramos Aldana, así como el resto del personal de las empresas que nos apoyaron. Gracias por ser parte medular del trabajo de campo.

Por estar siempre a mi lado: Paula Aguilar, Scarlet Galindo, Maribel Velázquez.

Resumen

La evaluación del color de la carne es de gran importancia, debido a que es un atributo que influye en la decisión de compra del consumidor. Con este fin, en México se han empleado patrones visuales desarrollados en otros países, sin embargo, estos no son del todo aplicables a la carne mexicana. 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 bovino nacional. Para ello, se realizaron mediciones instrumentales en 1165 lomos de canales provenientes de rastros Tipo Inspección Federal. Previo a las mediciones, los lomos se mantuvieron a una temperatura $\leq 2^{\circ}\text{C}$ y se dejaron expuestos al aire durante 30 minutos. Posteriormente, el color se midió con un espectrofotómetro, registrándose el promedio de 4 lecturas por lomo para los valores de L^* , a^* , b^* , h^* y C^* de la escala CIEL*a*b* y además se tomó una fotografía de cada uno de ellos. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de correlación. La variable L^* fue la que mostró la correlación más alta ($r=-0.97$) con la calificación visual y, por tanto, se usó como criterio para construir las 7 categorías del patrón (1A, 1B, 2A, 2B, 3, 4 y 5). Así, se construyeron los intervalos de confianza al 95% para la media de L^* dentro de cada categoría visual y se seleccionó una foto, con valor de L^* dentro del intervalo, para ilustrar cada una de las categorías. El presente trabajo provee una escala descriptiva, que permite ordenar y/o segregar la carne de bovino en diferentes categorías de calidad, según el color. Su empleo requiere de personal entrenado y no debe usarse con paneles enfocados a evaluar las preferencias de los consumidores.

Palabras clave: medición instrumental, CIEL*a*b*, evaluación subjetiva, carne de res.

Abstract

Beef color is one of the most important quality attributes that influences consumer purchase decision. In Mexico, beef color has been evaluated using visual standards developed in other countries. However, these are not entirely applicable to Mexican beef. Therefore, the goal of this work is to develop a science-based visual standard for the subjective assessment of beef color in the domestic beef slaughter population. We gathered instrumental color measurements from 1165 loins obtained from carcasses produced at slaughterhouses under the Mexican Federal Inspection System. Prior to conducting the measurements, the loins at ≤ 2 °C were exposed to air for at least 30 minutes. Next, we measured L^* , a^* , b^* , h^* and C^* variables (CIELAB scale) by means of a spectrophotometer, recording the average of 4 readings per loin. We also took a picture of each of the evaluated loins. Data were analyzed using descriptive statistics and correlation analysis. L^* value had the highest correlation ($r = -0.97$) with the visual score. Hence, it was used as the criterium to elaborate the 7 color categories (1A, 1B, 2A, 2B, 3, 4 and 5) of the visual standard. Therefore, we determined the L^* 95% confidence intervals of each visual category. In order to obtain the visual standard, we selected pictures corresponding to samples with L^* values within the confidence interval of the mean of each one of the categories. This work provides a descriptive scale that allows sorting beef according to color. Its use requires trained personnel and thus, it should not be used with consumer panels.

Keywords: color, beef, CIELAB, visual standards

Índice

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos	III
Resumen.....	IV
Abstract.....	V
Índice	VI
Lista de figuras.....	VIII
Lista de cuadros.....	X
Introducción	1
Antecedentes.....	2
El color como atributo de calidad en la carne de bovino	2
Importancia de la mioglobina en el color de la carne de bovino.....	3
Métodos para evaluar el color de la carne.....	8
Métodos subjetivos para medir el color	12
Métodos objetivos	13
Importancia económica del color de la carne y factores que lo afectan	19
Experiencias internacionales en la evaluación del color.....	26
Situación actual del marco regulatorio mexicano en materia de color y calidad de la carne.....	30
Objetivo.....	32
Justificación	32
Hipótesis	32
Materiales y métodos.....	33
Resultados.....	36

Comportamiento general del color y desarrollo del patrón para la evaluación del color en carne de bovino	36
Comportamiento de MMB, OXM, DMB de acuerdo a cada categoría visual	41
Discusión	43
Conclusiones	48
Recomendaciones.....	48
Referencias bibliográficas.....	49

Lista de figuras

	Página
Figura 1. Estructura molecular de la mioglobina.....	3
Figura 2. Diferentes coloraciones de la carne debido a las formas redox de la mioglobina.....	4
Figura 3. Capa superficial de oximioglobina después de 30 minutos de oxigenación.....	6
Figura 4. Esquema de las interconversiones de las formas redox de la mioglobina en la carne fresca.....	8
Figura 5. Reconocimiento del color por el ojo humano y por un espectrofotómetro.....	9
Figura 6. Difusión espectral de los iluminantes.....	11
Figura 7. Diferencias de color influenciadas por el tipo de iluminante.....	11
Figura 8. Espectrofotómetro Hunter MiniScan EZ.....	14
Figura 9. Representación de un color sólido en el espacio $L^*a^*b^*$	14
Figura 10. Diagrama del espacio de color $L^* a^* b^*$ y cromaticidad para tonalidad y croma.....	15
Figura 11. Reflectancia y ondas espetales isobélicas usadas para determinar cuantitativamente las formas redox de la mioglobina.....	18
Figura 12. Variación (%) de valores instrumentales de L^* de la evaluación visual de la luminosidad en músculo <i>Longissimus</i> de ganado después de alimentación en pastoreo o alimentación con concentrado.....	22
Figura 13. (A) Carne de coloración normal; (B) Corte oscuro.....	24
Figura 14. Efectos de la estimulación eléctrica y del tiempo de almacenamiento en la estabilidad del color del músculo <i>Longissimus</i> de bovino.....	25

Figura 15. Efecto de la irradiación y de los días de almacenamiento en a^* provenientes de la superficie de carne de res.	26
Figura 16. Estándares visuales para color de res.....	27
Figura 17. Evaluación visual de la carne a nivel industrial.....	28
Figura 18. Estándares de color de carne de res de Japón.....	29
Figura 19. Estandarización de condiciones de iluminación con ayuda de un fotómetro.....	33
Figura 20. Toma de foto y evaluación visual.....	34
Figura 21. Toma de medidas objetivas con Hunter MiniScan EZ conectado al software OnColor de Konica Minolta.....	35
Figura 22. Comportamiento de L^* , a^* , b^* , C^* , h^* en las diferentes categorías visuales.....	37
Figura 23 Patrón para la evaluación visual del color de la carne de bovino.	38
Figura 24. Frecuencia relativa de cada categoría visual, según valores de L^* , para el rastro TIF 1.....	39
Figura 25. Porcentajes de L^* dentro de cada categoría visual para el rastro TIF 2.....	39
Figura 26. Porcentajes de L^* dentro de cada categoría visual para el rastro TIF 3.....	40
Figura 27. Porcentajes de L^* dentro de cada categoría visual para el rastro TIF 4.....	40
Figura 28. Medias de (deoximioglobina) DMB para cada categoría visual...	41
Figura 29. Medias de la (oximioglobina) OMB para cada categoría visual...	42
Figura 30. Medias de la metamioglobina (MMB) para cada categoría visual.....	42

Lista de cuadros

	Página
Cuadro 1. Medias y error estándar de las diferentes formas redox de la mioglobina del músculo <i>Longissimus</i> , tomado a las 1 y 48 horas de oxigenación de la carne a diferentes tiempos de maduración.....	5
Cuadro 2. Aceptación de los cortes de carne fresca de res, cerdo y pollo presentados bajo diferentes fuentes de iluminación.....	10
Cuadro 3. Efecto de la raza en los atributos del color de la carne [media (error estándar)] medidos a los cero (d0) y seis días (d6) del tiempo de exhibición en punto de venta al detalle	20
Cuadro 4. Pigmentos hemo (contenido hematíe en los músculos de ganado bovino (medias \pm error estándar).....	21
Cuadro 5. Variables instrumentales del color (media \pm desviación estándar) en carne de bovino de dos productores del estado de Sonora...	31
Cuadro 6. Tamaño de muestra de cada categoría visual.....	36
Cuadro 7. Medias de L* a*, b* h* C* para cada categoría visual.....	37
Cuadro 8. Correlaciones de Pearson de las diferentes variables con las categorías visuales.....	37
Cuadro 9. Intervalos de confianza (95%) para L* dentro de cada categoría visual.....	38
Cuadro 10. Medias de la concentración estimada de metamioglobina (MMB), deoximioglobina (DMB) y oximioglobina (OMB) en cada categoría visual.....	41

Introducción

El color de la carne de bovino se encuentra dentro de los principales atributos de calidad que van a influir en la decisión de compra del consumidor (Mancini y Hunt, 2005; Wulf y Wise, 1999). Se ha estimado que la industria cárnica de los Estados Unidos ha tenido pérdidas económicas debidas a problemas en la coloración por más de un billón de dólares al año (Troy y Kerry, 2010), lo que representa el 15% de las ventas al menudeo.

El color de la carne depende en mayor medida de las formas redox de la mioglobina, además de la interacción de otros factores como el metabolismo muscular, la temperatura, la presión parcial de oxígeno, la genética, la raza (King *et al.*, 2010b), los sistemas de producción, la alimentación y el manejo previo y posterior a la matanza (Warner *et al.*, 2010), los cuales en conjunto tienen efecto en la estabilidad del color. Debido a esto, el color es uno de los atributos empleados para evaluar la calidad de las canales en países como EUA, Japón, Canadá y Australia (AUS-MEAT, 2005; Japan Meat Grading Association, 2000; Tatum, 2007; The Beef Information Centre, 2008). Estos esquemas de valoración se realizan con la ayuda de escalas visuales, las cuales están altamente correlacionadas con la decisión de compra del consumidor (Carpenter *et al.*, 2001).

En México la carne de bovino es el segundo tipo de carne que más se consume en el país, con un *per capita* anual de 17.40 Kg (FAOSTAT, 2013); sin embargo, no se cuenta con herramientas científicamente sustentadas para la segregación de la carne según el color. Si bien existen iniciativas privadas y algunos estudios de alcance regional (Miranda-de la Lama *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2006; Torrescano *et al.*, 2010; Zorrilla *et al.*, 2013) hasta el momento no se ha desarrollado un patrón visual que sirva de referencia para la industria cárnica mexicana. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un patrón para la evaluación visual del color de la carne de bovino a nivel industrial en México.

Antecedentes

El color como atributo de calidad en la carne de bovino

El color es el primer atributo visual que un consumidor considera al tomar una decisión de compra, ya que la apariencia de éste da una percepción preconcebida de “frescura” y por ende de calidad (Egan *et al.*, 2001; Mancini y Hunt, 2005; Wulf *et al.*, 1997). Esto ha originado que productores, industria e investigadores hayan señalado la importancia del color de la carne y su repercusión ante necesidades específicas del mercado.

No es coincidencia que el color de la carne, a la par de otros atributos de calidad como el marmoleo y la madurez sean empleados para evaluar canales, tal como ocurre en otros países como EUA (Tatum, 2007), Japón (Japan Meat Grading Association, 2000), Canadá (The Beef Information Centre, 2008) y Australia (AUS-MEAT, 2005), entre otros. El segregar las diferentes tonalidades de la carne ha sido de gran ayuda en la industria cárnica, ya que de esta forma se pueden detectar problemas potenciales como los cortes oscuros (dark cutters, por su nombre en inglés). Éste es uno de los defectos de calidad de carne de bovino más importantes, ya que la vuelve estéticamente indeseable por tener una apariencia de color negro, además de que sus características fisicoquímicas la hacen más susceptible a contaminación bacteriana (Apple *et al.*, 2005; Wulf *et al.*, 2002). Este tipo de coloración se ha llegado a encontrar hasta en el 1.5% de las canales de bovino en EUA, lo que refleja efectos negativos para la industria, llegando a provocar pérdidas económicas de entre 132 y 170 millones de dólares al año (Apple *et al.*, 2005; Bass *et al.*, 2008).

Si bien la interacción de diversos factores intrínsecos y extrínsecos al músculo tienen la capacidad de alterar las diferentes tonalidades de la carne, este depende en mayor medida de las proporciones de deoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina presentes, las cuales están en función del estado de óxido reducción (inter-conversión) de la mioglobina (King *et al.*, 2010a; King *et al.*, 2010b; Mancini y Hunt, 2005; Warner *et al.*, 2010).

Importancia de la mioglobina en el color de la carne de bovino

La mioglobina se localiza en el sarcoplasma y es una de las responsables de la tonalidad roja de la carne. En el músculo se encarga de captar el oxígeno y entregarlo a la mitocondria para mantener las funciones fisiológicas. La mioglobina es una hemo-proteína monomérica formada por aproximadamente 153 aminoácidos y su número y secuencia es específica de cada especie (Yin *et al.*, 2011). En su estructura contiene 8 segmentos con α -hélices unidas, posee un anillo hemo que tiene un átomo central hierro que puede formar seis enlaces, de estos el sexto sitio es el más importante, y puede unirse reversiblemente a algunos ligandos (Figura 1). 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 y Hunt, 2005; Suman y Joseph, 2013).

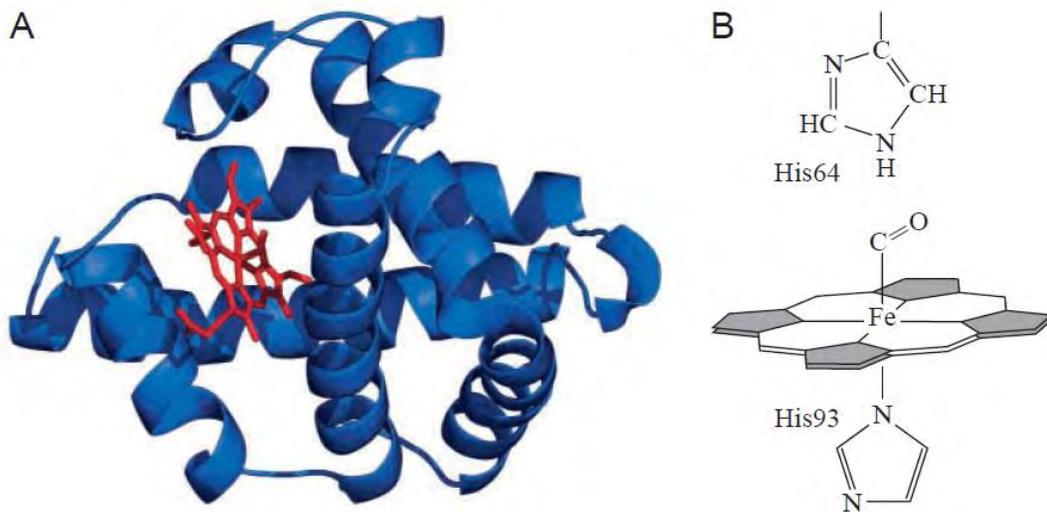


Figura 1. Estructura de la mioglobina. (A) La estructura principal de la mioglobina consiste de ocho α -hélices (azul) que se pliegan alrededor de un grupo central que contiene un anillo hemo (rojo). (B) El grupo hemo está estabilizado por los residuos de histidina arriba (His 64) y abajo (His 93). Fuente: Ordway (2004)

Las cuatro formas de interconversión de la mioglobina y el estado de la valencia del hierro van a determinar las diferentes tonalidades que presenta la carne. Así, la deoximioglobina (DMb) se caracteriza por un tener anillo hemo ferroso (Fe^{2+}) el cual es responsable del color rojo-púrpura, asociado al músculo inmediatamente después del corte o bien en la carne de los empaques al vacío (Figura 2).

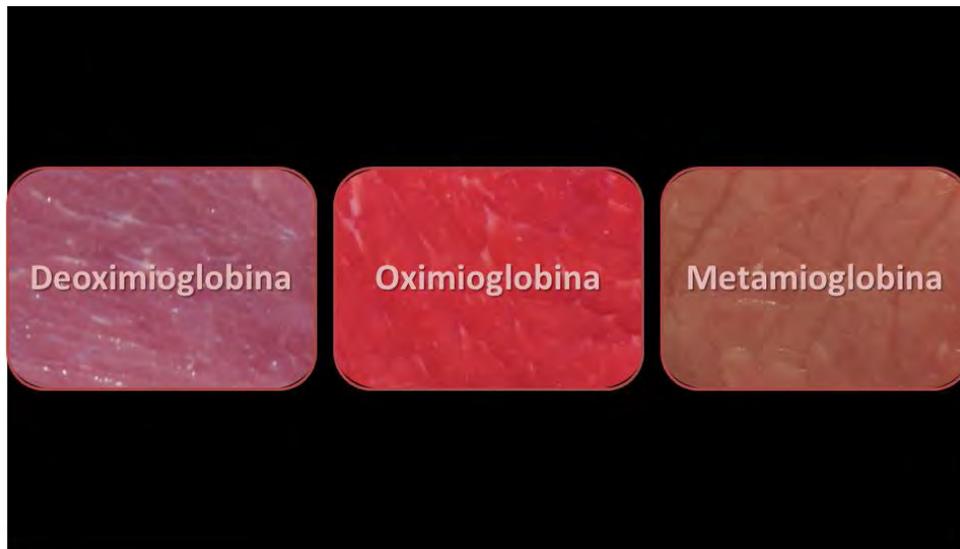


Figura 2. Diferentes coloraciones de la carne debido a las formas redox de la mioglobina.

Al oxigenarse la deoximioglobina se forma la oximioglobina (OMb), la cual da lugar a un color rojo-cereza brillante, siendo éste el deseado por el consumidor. En este estado no ocurren cambios en las valencias de hierro durante la oxigenación, aunque la coordenada del sexto sitio está ahora ocupada por oxígeno diatómico (AMSA, 2012; Mancini y Hunt, 2005; Mohan *et al.*, 2010). Este fenómeno es conocido como tiempo de oxigenación de la mioglobina (“blooming time”, por su nombre en inglés), y depende del tiempo, la temperatura, el pH, la presión parcial de oxígeno, así como de la competencia por el oxígeno entre la mitocondria y la mioglobina. Es decir, la competencia por el oxígeno entre la mioglobina y la mitocondria determina la penetración de éste hacia el interior de la carne, lo cual afectará significativamente la intensidad del color en la superficie. Esto se debe a que en la superficie se van a encontrar las diferentes formas redox de la mioglobina y el color está determinado por la forma predominante (Mancini y Hunt, 2005).

Como se puede apreciar en el Cuadro 1, los porcentajes de las diferentes formas redox de la mioglobina varían de acuerdo al tiempo de maduración, ya que el efecto de esta es significativa para los porcentajes de deoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina con una hora de oxigenación. Mientras que a las 24 horas y 14 días de maduración sólo hay cambios en los porcentajes de oximioglobina. Esto se explica debido a que en el aire a baja temperatura durante el periodo de maduración, la penetración del oxígeno a la parte más profunda de la carne se incrementa al mismo tiempo que disminuye el consumo de oxígeno por las mitocondrias, lo que permite la mejor oxigenación de la carne (Beraiain *et al.*, 2009) (Figura 3).

Cuadro 1. Medias y error estándar de las diferentes formas redox de la mioglobina (%Mb=Deoximioglobina, %MbO₂ = Oximioglobina y %MMb= Metamioglobina) del músculo *Longissimus*, tomado a las 1 y 48 horas de oxigenación de la carne a diferentes tiempos de maduración

		Oxigenación		Maduración		
		24 h	Día 3	Día 7	Día 14	P
%Mb	1 h	12.6 ^a (1.7)	7.9 ^b (1.4)	5.7 ^{bc} (1.4)	1.2 ^c (0.4)	***
	48 h	1.1 (0.9)	3.3 (1.1)	2.4 (0.8)	0.9 (0.5)	ns
	p	***	**	*	ns	
%MMb	1 h	7.8 ^a (1.4)	3.7 ^b (0.7)	2.2 ^b (0.5)	2.9 ^b (0.6)	***
	48 h	20.3 ^a (1.5)	16.0 ^{ab} (1.5)	13.6 ^b (1.8)	18.0 ^{ab} (2.0)	*
	p	***	***	***	***	
%MbO ₂	1 h	79.6 ^c (1.7)	88.4 ^b (1.5)	92.1 ^a (0.6)	95.9 ^a (0.4)	***
	48 h	78.6 ^b (1.5)	80.7 ^{ab} (1.3)	84.0 ^a (1.7)	81.1 ^{ab} (2.0)	*
	p	ns	***	***	***	

Medias dentro de una misma línea carente de letras de superíndices comunes difieren ($p < 0.05$), ns: $p > 0.1$; $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$. Fuente: Beraiain (2009)

Debido a lo anterior, cuando se realizan evaluaciones del color es importante exponer la carne al aire por un tiempo mínimo de 30 minutos, con el fin de garantizar la completa oxigenación de la mioglobina. Asimismo, la temperatura de la carne se debe mantener lo más baja posible, idealmente $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, para evitar que la oxigenación se retrase, producto de la competencia de la mioglobina con las mitocondrias por el oxígeno disponible (AMSA, 2012; Mancini y Hunt, 2005).



Figura 3. Capa de oximioglobina superficial, después de 30 minutos de oxigenación.

La oximioglobina al oxidarse, da lugar a la formación de la metamioglobina (MMb) caracterizada por un color café. Esta tonalidad se hace evidente cuando existe un 40% de metamioglobina en la superficie de la carne, lo que provoca que ésta sea rechazada y considerada como inaceptable por el consumidor (Berian *et al.*, 2009). Ésta decoloración resulta de la oxidación de los derivados de la mioglobina ferrosa a hierro férrico (Fe^{3+}) teniendo al agua como el ligando en la sexta posición del anillo hierro (Mancini y Hunt, 2005). La oxidación de la oximioglobina ha tomado un papel muy importante en la industria cárnica, debido a que contribuye a la decoloración de la carne. Este intervalo de decoloración de la carne es músculo-específica, ya que músculos que contienen proporciones relativamente grandes de fibras rojas, así como más lípidos y grandes intervalos de consumo de oxígeno se decoloran más rápido (AMSA, 2012; Faustman *et al.*, 2010; Mancini y Hunt, 2005; Mohan *et al.*, 2010).

La decoloración de la carne depende en mayor medida del contenido mitocondrial y la actividad enzimática. Por lo que músculos como *Longissimus* al tener una menor concentración de mitocondrias poseen una mayor estabilidad del color, mientras que *Triceps brachii* al poseer un alto consumo de oxígeno están asociados con una disminución en la estabilidad del color. Esta inestabilidad se debe a la competencia por el oxígeno *post mortem* disponible por parte de la mioglobina y las enzimas mitocondriales (King *et al.*, 2010b). El verdadero problema radica en que la deoximioglobina es más susceptible a la oxidación que la oximioglobina (King *et al.*, 2010b; Mancini y Hunt, 2005). Adicionalmente el proceso de oxidación de los lípidos también favorece la decoloración de la carne, ya que puede propiciar la oxidación de la mioglobina debido a la reactividad de productos primarios y secundarios derivados de los ácidos grasos insaturados (Faustman *et al.*, 2010)

Cabe mencionar que existe una reacción favorecida bajo presiones bajas en oxígeno (<7 mm Hg), donde el oxígeno disuelto en el tejido muscular es consumido por varias reacciones, incluida la respiración mitocondrial. En éste punto ocurre una desoxigenación de oximioglobina hacia deoximioglobina. Ésta última puede re-oxigenarse inmediatamente, sin embargo ésta deoximioglobina se vuelve más susceptible a la oxidación de los radicales de oxígeno principalmente la hidrogeno peroxidasa por lo que se llega a la formación de metamioglobina.

Finalmente, dentro de las formas redox de la mioglobina se encuentra la carboximioglobina (COMb), ésta se forma al unirse el monóxido de carbono a la sexta posición vacante de la deoximioglobina y originar un color rojo muy brillante que es relativamente estable (AMSA, 2012). Esta tonalidad se observa en las carnes empacadas en atmósferas modificadas con una concentración muy baja de oxígeno. En la Figura 4 se observa la interconversión de las formas redox.

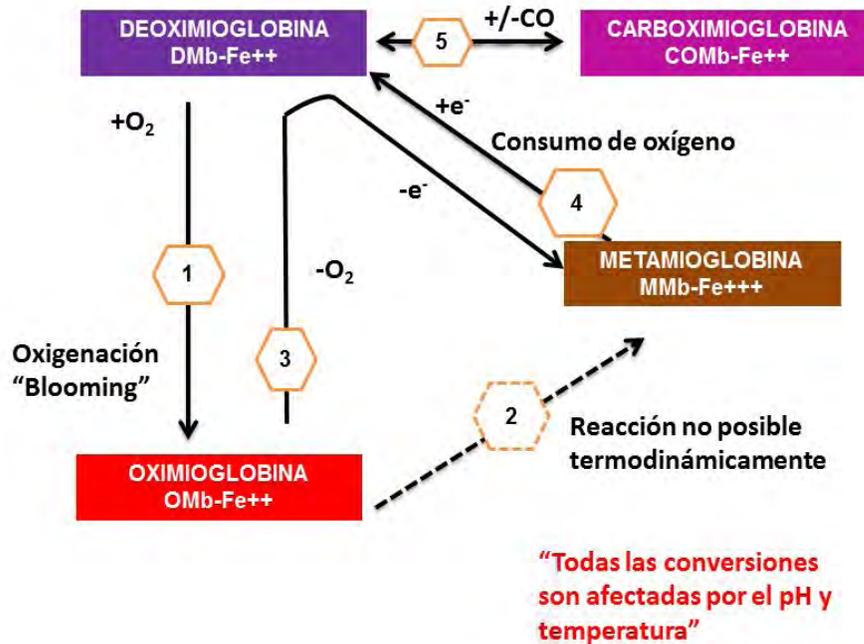


Figura 4. Esquema de las interconversiones de las formas redox de la mioglobina en la carne fresca. Fuente: AMSA (2012)

Debido a que son varios los factores que afectarán la estabilidad del color de la carne, estos se deben considerar al momento de hacer las mediciones ya sean instrumentales o subjetivas. Por lo que los factores mínimos a estandarizarse son la temperatura interna de la carne, temperatura ambiental y el tiempo mínimo de oxigenación de la mioglobina, de lo contrario se verán afectados los resultados obtenidos (AMSA, 2012).

Métodos para evaluar el color de la carne

El color puede ser percibido por el ojo humano y ser clasificado cualitativamente por métodos subjetivos; o bien, mediante instrumentos como los colorímetros o espectrofotómetros y ser clasificados cuantitativamente.

Estos dos tipos de clasificación son posibles gracias a que el color de la carne o de cualquier otro objeto se deben a la interacción de tres componentes; la luz (fuente de luz o iluminante), visión (observador u aparato de medición) y la presencia de un objeto observado o medido. El ser humano puede ver la luz

proveniente de la longitud de onda que se encuentra dentro del espectro de luz visible (380 a 780 nm). La luz como energía radiante estimula la retina en el ojo para producir una sensación de “visión”, por lo que el concepto de “color” está formado por las reacciones que se producen cuando la luz entra al ojo, estimulando la retina y el cerebro reacciona ante esto. Por otro, lado los espectrofotómetros emplean una rejilla de difracción para separar la luz reflejada por el objeto para entonces medir la reflectancia espectral de cada longitud de onda. De este modo un microcomponente calcula los valores triestímulos, los cuales se emplean para obtener los valores dentro del espacio CIEL*a*b*(Figura 5).

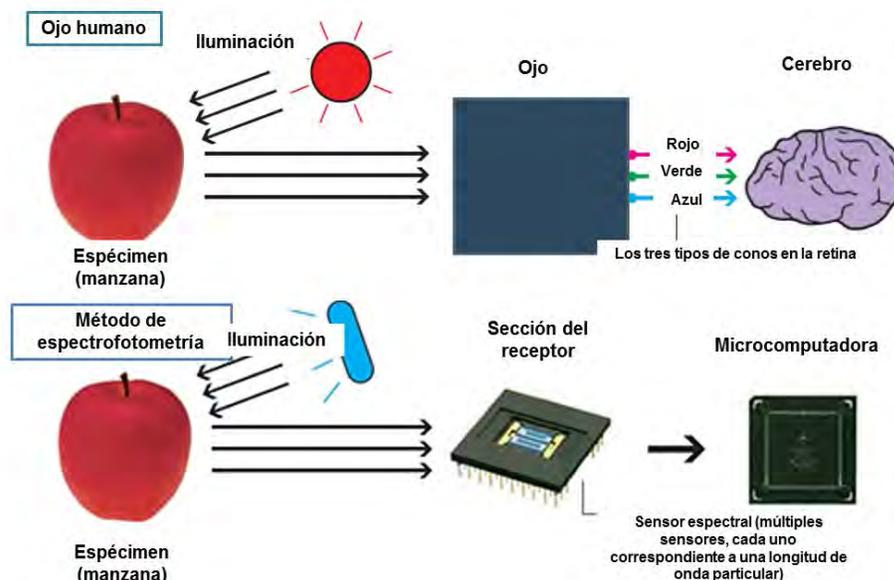


Figura 5. Reconocimiento del color por el ojo humano y por un espectrofotómetro. Fuente: Konica Minolta (2007)

La luz es vital en la percepción del color, ya que sin ésta no existe el color. Las fuentes de luz o iluminantes pueden ser de diferentes tipos, tales como incandescente, fluorescente, luz de medio día, etc., y cada uno de estos tipos de luz poseen una composición espectral diferente. Al hablar del tipo de luz, debe considerarse también la intensidad de ésta, la cual se encuentra determinada por lo grados Kelvin del iluminante, originando un fenómeno llamado “temperatura del color”. Así que tanto para evaluaciones sensoriales como instrumentales la fuente de iluminación debe de ser estandarizada (Konica Minolta Sensing, 2007; Metas y metrólogos asociados, 2007, 2009).

Barbut (2001), evaluó mediante el uso de paneles sensoriales de consumidores el color de carne de bovino, cerdo y pollo bajo tres diferentes fuentes de iluminación: incandescente, fluorescente y metal halide. En las tres fuentes se empleó un nivel de iluminación de 70 candelas (760 luxes) y se observó que el color de la carne varió bajo las diferentes fuentes de iluminación, detectando que el color de la carne de bovino fue preferida bajo la luz incandescente, ya que los panelistas la describían como roja. Por otro lado, la carne evaluada bajo luz fluorescente fue percibida como de color café (rojo oscuro). Finalmente la carne evaluada bajo metal halide recibió la peor calificación (percepción de color café oscuro) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Aceptación¹ de los cortes de carne fresca de res, cerdo y pollo presentados bajo diferentes fuentes de iluminación

Producto	Fuente de iluminación		
	Incandescente	Fluorescente	Metal Halide
Res	8.00a	6.83b	6.63b
Cerdo	8.30a	5.93b	5.69b
Pollo	7.23a	5.27b	5.30b

^{a,b}Medias seguidas por diferentes letras, dentro de cada fila, son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ¹Evaluado con panel sensorial entrenado (15 panelistas). Escala de aceptación desde 1=desagradable hasta 10=agradable. Fuente: Barbut (2001)

De este modo para las evaluaciones del color de la carne, sean instrumentales o con paneles sensoriales, es recomendable emplear un iluminante A o luz incandescente (2800-3500 °K), debido a que este tipo de luz potencializa las longitudes de onda que van de los 650-780 nm del espectro de luz visible y que corresponden al color rojo (Figura 6) (AMSA, 2012; Konica Minolta Sensing, 2007). Con lo que se tiene un indicador de que la carne bajo luz incandescente tiene mejor preferencia para el consumidor por intensificar los rojos (Figura 7) (Barbut, 2001).

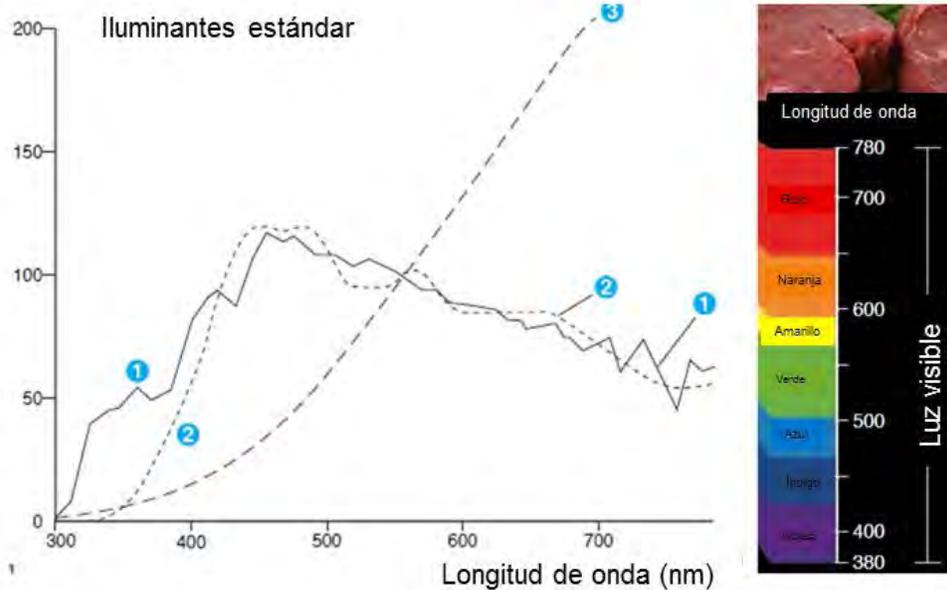


Figura 6. Difusión espectral de los iluminantes, donde; 1= Iluminante D65, 2= Iluminante C, 3= Iluminante A. Fuente: Konica Minolta (2007)

Temperatura de color = 6500 K
CRI = 86

Temperatura de color = 3500 K
CRI = 86

Temperatura de color = 4100 K
CRI = 64



Figura 7. Diferencias de color influenciadas por el tipo de iluminante. Fuente: Raines (2008)

Indistintamente del tipo de evaluación que se realice, debe considerarse no solamente la estandarización del tiempo de oxigenación de la mioglobina, temperatura de la muestra, tipo de iluminación (temperatura de color), el tipo de

observador (el observador es un espectrofotómetro o bien un panel sensorial), sino también el tipo de muestra a evaluar. La mayoría de las evaluaciones sensoriales del color de la carne se realizan en el músculo *Longissimus*, el cual se mide entre 12 y 13ava costilla. Este es el músculo más empleado para la evaluación de canales, por lo que se emplea como un indicador del comportamiento del resto de los músculos de la canal. Y a pesar de que existe variación intramuscular, es empleado como predictor de color (King *et al.*, 2010b), suavidad y marmoleo (Smith *et al.*, 2008).

Métodos subjetivos para medir el color

El color puede ser medido de forma subjetiva mediante el uso de paneles sensoriales de consumidores, donde las pruebas están orientadas al consumidor. Por otro lado existen los paneles visuales entrenados, donde la prueba realizada va enfocada a un producto.

Los paneles de consumidores toman una muestra representativa de personas de una cierta población. El propio consumidor es el que realiza la evaluación, por lo regular se entrevistan entre 100 a 500 personas, donde se incluyen pruebas de preferencia, pruebas de aceptabilidad y pruebas hedónicas (Watss *et al.*, 1992).

Las pruebas hedónicas están destinadas a medir cuánto agrada o desagrada un producto, en estas se utilizan escalas categorizadas y los panelistas indican el grado en el que les agrada cada muestra, escogiendo la categoría apropiada (Watss *et al.*, 1992).

Los paneles sensoriales son pruebas orientadas a un producto, por lo general constan de 5 a 15 panelistas seleccionados por su agudeza sensorial, ya que han sido especialmente entrenados para la tarea que realizarán y debido a su precisión funcionan como un instrumento de medición. El entrenamiento se diseña para que los panelistas formulen juicios válidos, confiables y que sean independientes de sus preferencias personales. El ejemplo más claro sobre este tipo de entrenamiento se observa en los Estándares de Evaluación de la Carne de Australia, donde el entrenamiento debe ser certificado por la RTO (Registered Training Organisation, por sus siglas en inglés) (Meat and Livestock Australia, 2013).

Para cuantificar la información de las pruebas sensoriales se utilizan escalas de medición nominal, ordinal, de intervalo y racional. En las escalas ordinales las muestras se ordenan de acuerdo a la magnitud y se utilizan tanto en pruebas orientadas al consumidor como en las orientadas al producto. En los paneles de consumidores, las muestras se ordenan en base a su preferencia o aceptabilidad. En las pruebas orientadas al producto, el ordenamiento se basa en las intensidades de una característica específica del producto.

De igual manera las escalas de intervalo se emplean tanto en las pruebas orientadas al consumidor como en las orientadas al producto. En las pruebas orientadas al consumidor se registra el grado de satisfacción, el nivel de preferencia o aceptabilidad de los productos. En las pruebas orientadas a los productos, se registra la intensidad de los atributos del producto.

Debido a que en los paneles sensoriales se debe “caracterizar el color de la carne”, estas escalas de color deben construirse adecuadamente, con el fin de obtener datos que caractericen diferencias. Carpenter *et al.* (2001), han comprobado que los paneles sensoriales son tan eficientes que al relacionar las escalas visuales para apariencia con la probabilidad de comprar la carne, existe una alta correlación ($r=0.9$), por lo que existe una relación estrecha entre la preferencia del color (evaluado con un panel sensorial entrenado) y la decisión de compra del consumidor (Carpenter *et al.*, 2001).

Métodos objetivos

Las mediciones instrumentales que se realizan con la ayuda de colorímetros o espectrofotómetros son una forma objetiva de caracterizar el color (Figura 8). La diferencia de cada uno radica en que un colorímetro mide la luz reflejada de un objeto, mientras que un espectrofotómetro mide la reflectancia espectral, por lo que no solo se obtienen datos numéricos de color a partir del sistema triestímulo (X, Y, Z) como lo hace un colorímetro, sino que también muestra las gráficas de reflectancia espectral del color (Konica Minolta Sensing, 2007).



Figura 8. Espectrofotómetro Hunter MiniScan EZ. Fuente: Hunter LAB

De este modo, las mediciones instrumentales se realizan gracias a que la organización internacional de luz y color (Commission Internationale de L'Eclairage, CIE por sus siglas en francés) desarrolló un sistema ampliamente utilizado por los instrumentos de medición de color, empleando el sistema CIEL*a*b*, que son coordenadas matemáticas derivadas de los valores triestímulos X, Y, Z, donde L* denota la luminosidad (0 es negro 100 es blanco), a* el color rojo-verde (valores positivos son rojos; valores negativos son verdes, y 0 es neutro), y b* el color azul-amarillo (valores positivos son amarillos; valores negativos azules y 0 es neutro) (Figura 9).

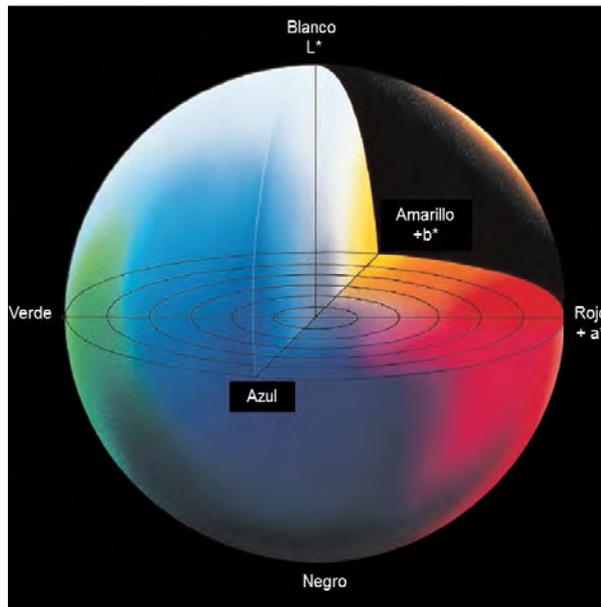


Figura 9. Representación de un color sólido en el espacio L*a*b*. Fuente: Konica Minolta (2007)

A partir de los valores de estas coordenadas se obtienen los valores de C^* o croma. Este es el índice de saturación del color, que nos indica cuán intenso es determinado color y se calcula a partir de los valores de a^* y de b^* , según la siguiente fórmula:

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

Por su parte, h^* es la tonalidad o ángulo, que se calcula como la arcotangente de b^*/a^* ($h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$) y valor se expresa en grados. Este valor indica cuál es el tono predominante que se observa (rojo, azul, verde o amarillo) (Konica Minolta Sensing, 2007). Por ejemplo, cuando el valor de h^* se encuentra entre 0 y 45° predomina el tono rojo. En cambio, cuando los valores se acercan a los 90° , predomina el tono amarillo (Figura 10).

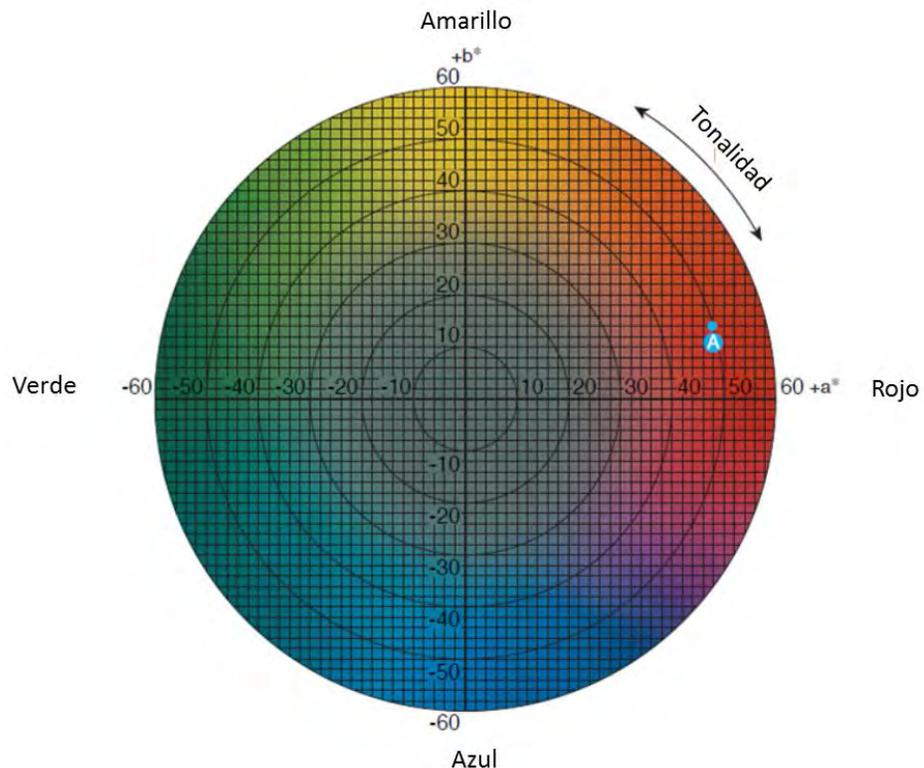


Figura 10. Diagrama del espacio de color $L^* a^* b^*$ y cromaticidad para tonalidad y croma. Fuente: Konica Minolta (2007)

Un espectrofotómetro colorimétrico usa una fuente de luz para iluminar el espécimen que está siendo medido. La luz reflejada por el objeto pasa por una rejilla de difracción que separa la luz en sus componentes. La luz dispersa pasa a un detector de arreglo de diodos que mide la cantidad de luz a cada longitud de onda. Estos datos espectrales son enviados a un procesador que multiplica los datos de reflectancia por los valores del iluminante, por las funciones del observador, obteniendo los valores $L^* a^* b^*$ (Metas y metrólogos asociados, 2007), los cuales han sido de gran ayuda en el desarrollo de diferentes investigaciones relacionadas con el color de la carne.

Como se ha citado, son varios los factores que afectan las lecturas instrumentales del color, pero de igual forma es importante estandarizar la forma de medir al emplear un espectrofotómetro. Debe de considerarse el espacio de color empleado por el aparato (CIE $L^*a^*b^*$, CIE Lab, XYZ), tipo de iluminante (A, D65, C), tamaño de apertura del puerto, ángulo de observación ($0^\circ/45^\circ$, con esfera), si se trabajará con el componente especular incluido o excluido, tiempo de oxigenación de la mioglobina y el número de lecturas promediadas por muestra (AMSA, 2012; Tapp *et al.*, 2011).

El tamaño o apertura de puerto por lo regular estará predeterminado en el aparato según el fabricante. El más común es de 25 mm; sin embargo, debe tomarse en cuenta que conforme el tamaño de apertura del aparato disminuye los valores de $L^* a^*$ y b^* también van a disminuir (Yancey y Kropf, 2008). La recomendación ante un tamaño de apertura grande como éste es tomar tres lecturas por muestra (AMSA, 2012; Tapp *et al.*, 2011).

El tipo de observador también se encuentra predeterminado por el fabricante, los más comunes son 2° y 10° . El último es el más recomendado y empleado para medición de color en la carne ya que tiene la capacidad de capturar una mayor porción de la muestra que se evalúa (AMSA, 2012).

La muestra debe tener un grosor mínimo de 12 a 15 mm, de tal forma que la luz no sea capaz de pasar a través de ella. Finalmente, para la estandarización del aparato debe considerarse que en el músculo existen áreas que pueden variar en tamaño, color y uniformidad, así que las lecturas siempre deben hacerse en las porciones más uniformes de la carne, esto implica evitar áreas con decoloración, presencia de grasa intramuscular, tejido conectivo o cambios en la dirección de las fibras musculares.

Como se citó previamente, un espectrofotómetro es un instrumento más sofisticado que el colorímetro, por lo que ofrece otras alternativas para medir el color, ya que permite hacer un análisis espectral en intervalos de 10 nm y de este modo estimar los porcentajes de las diferentes formas de la mioglobina mediante ondas espectrales seleccionadas. Esto tiene una gran aplicación ya que la medición de la reflectancia está ampliamente relacionada con la percepción del cerebro y el ojo (AMSA, 2012).

Krzywicki (1979), desarrolló un método para calcular los contenidos relativos de deoximioglobina, metamioglobina y oximioglobina de la carne. Esto estaba basado en las medidas provenientes de los puntos isobésticos a los 572, 525, 473 y 730 nm. Un punto isobéstico es la longitud de onda a la cual dos especies absorbentes (en este caso, tipos de mioglobina) están en equilibrio y presentan la misma absorbancia (Figura 11) (AMSA, 2012; Krzywicki, 1979). El método para calcularlo se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 1: } A = \log \frac{1}{R}$$

Donde R= reflectancia a una onda espectral específica expresada como un decimal (0.30 en lugar de 30%), y

$$\text{Ecuación 2: } \%MMb = \left\{ 1.395 - \left[\frac{(A572 - A730)}{(A525 - A730)} \right] \right\} \times 100$$

$$\text{Ecuación 3: } \%DMb = \left\{ 2.375 \times \left[1 - \frac{(A473 - A730)}{(A525 - A730)} \right] \right\} \times 100$$

$$\text{Ecuación 4: } \%OMb = 100 - (\%MMb + \%DMb)$$

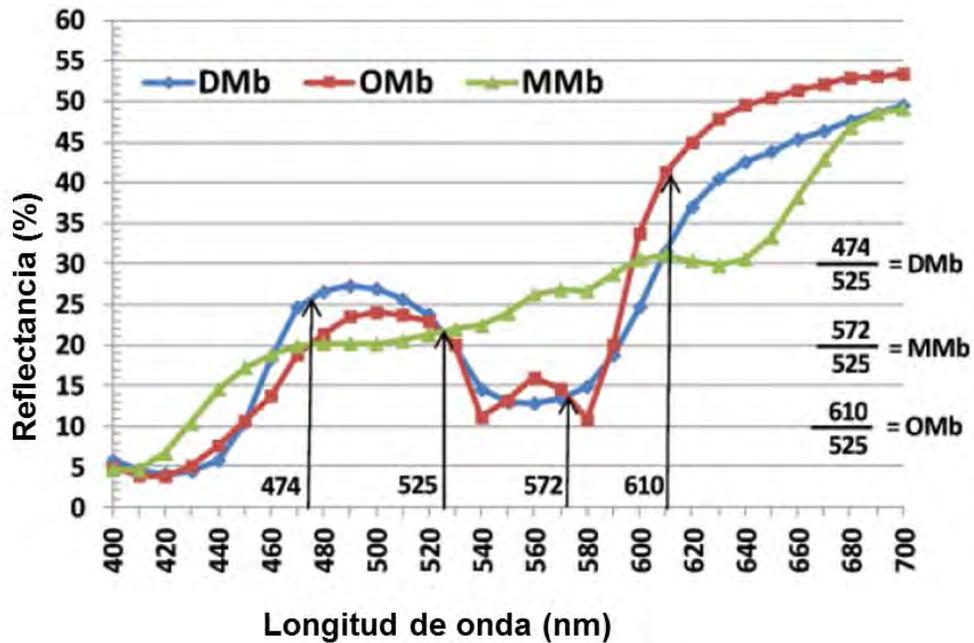


Figura 11. Reflectancia y ondas espectrales isobesticas usadas para determinar cuantitativamente las formas redox de la mioglobina. Fuente: AMSA (2012)

Este tipo de estimación de las diferentes formas redox de la mioglobina ofrece la ventaja de ser rápida y no invasiva, debido a que las mediciones se pueden realizar *in situ* en la canal. Si bien existen otros métodos para determinar la concentración de los porcentajes de mioglobina, como en el método de determinación en extracto acuoso, éste implica someter a la carne a un tratamiento químico previo a la toma de las lecturas con el espectrofotómetro (Krzywicki, 1981; Tang, 2004).

Si bien los espectrofotómetros permiten determinar porcentajes y/o concentraciones de las formas redox de la mioglobina, así como en la obtención de medidas instrumentales de la escala CIEL*a*b*, estas son al mismo tiempo de gran ayuda en la elaboración de las escalas visuales de color. Ya que medidas instrumentales obtenidas a partir de L* son útiles en el control de paneles sensoriales, así como en la elaboración de escalas visuales de color, y ambas pueden ser empleadas en la industria cárnica (Goñi *et al.*, 2007; Goñi *et al.*, 2008).

Importancia económica del color de la carne y factores que lo afectan

Se ha demostrado a través de diferentes culturas y nacionalidades que existen similitudes respecto al consumo de la carne, ya que los consumidores están dispuestos a pagar precios altos por un producto de mejor calidad (Polkinghorne *et al.*, 2011). Debido a esto se han desarrollado escalas para la evaluación visual del color, las cuales se encuentran altamente correlacionadas con la decisión de compra ($r=0.9$, $P<0.01$), siendo el color rojo cereza brillante el preferido, y conforme los colores cambian de tonalidad hacia morados y cafés llevarán a una decisión de rechazo (Carpenter *et al.*, 2001; Troy y Kerry, 2010).

Como se ha explicado previamente, la bioquímica de la mioglobina tiene gran peso en las diferentes tonalidades que presenta la carne, pero aunque éstas determinan el color, éste se ve afectado por diversos factores internos y externos al músculo, tales como metabolismo muscular, raza, sistemas de producción, alimentación y todos los procesos de manejo previo y posterior a la matanza (Mancini y Hunt, 2005; Warner *et al.*, 2010).

El tronco genético *Bos indicus* es muy empleado en cruzamientos para explotar sus características de rusticidad en trópico (Wheeler *et al.*, 2010); sin embargo este tipo de animales producen carne de color más oscura en comparación con *Bos taurus* (Crouse *et al.*, 1989; Wheeler *et al.*, 1994).

Pero no sólo la genética afecta la coloración de la carne, ya que la raza también contribuye a que dentro de un mismo tronco genético existan diferencias en el color. Por ejemplo, al evaluarse diferentes razas de *Bos taurus*, se observó que canales de Charolais y Limousin producen carne con mayor estabilidad del color, en comparación con canales de Angus, Hereford y Red Angus. Esto se atribuye a que las canales de estas razas presentaron valores más altos de a^* y b^* , así como una concentración menor de metamioglobina en la superficie de la carne en comparación con las otras razas (Cuadro 3) (King *et al.*, 2010a; King *et al.*, 2010b)

Cuadro 3. Efecto de la raza en los atributos del color de la carne [media (error estándar)] medidos a los cero (d0) y seis días (d6) del tiempo de exhibición en punto de venta al detalle

Atributos	Razas							P>F
	Angus	Charolais	Gelbvieh	Hereford	Limousin	Red Angus	Simmental	
L*								
d0	52.8 ^d (1.72)	49.7 ^{cd} (1.81)	48.0 ^c (1.85)	47.3 ^c (1.89)	49.2 ^c (1.72)	48.6 ^c (0.75)	47.0 ^c (1.80)	0.02
d6	50.1 ^d (1.88)	46.9 ^{bcd} (1.95)	46.1 ^{bc} (1.99)	44.0 ^b (2.05)	47.8 ^{cd} (1.87)	46.8 ^{bcd} (0.79)	44.5 ^b (1.97)	0.03
a*								
d0	32.5 (0.75)	32.6 (0.82)	33.6 (0.84)	33.2 (0.83)	32.3 (0.77)	33.7 (0.35)	33.1 (0.78)	0.29
d6	27.4 ^{bc} (1.41) (1.51)	31.1 ^d (1.51)	28.4 ^{bcd} (1.55)	27.7 ^{bc} (1.56)	30.5 ^d (1.43)	26.3 ^b (0.64)	29.7 ^{cd} (1.48)	0.02
b*								
d0	26.2 (0.69)	26.0 (0.77)	25.9 (0.79)	26.1 (0.76)	25.4 ^b (0.71)	26.5 (0.34)	25.8 (0.71)	0.55
d6	22.3 ^{bcd} (0.98)	24.5 ^d (1.05)	22.2 ^b (1.08)	21.9 ^b (1.08)	24.0 ^{cd} (0.99)	21.4 ^b (0.45)	23.2 ^{bcd} (1.03)	0.03
Mioglobina, mg/mL								
	3.05 ^{cd} (0.36)	2.77 ^{bc} (0.37)	3.62 ^d (0.37)	3.34 ^{cd} (0.39)	2.72 ^b (0.36)	3.43 ^d (0.15)	3.71 ^d (0.38)	0.01

^{a-d} Medias con letras desiguales en una misma fila difieren significativamente (P<0.05). Adaptado King et al., 2010

Por otro lado Gil *et al.* (2001) evaluaron diferentes razas de bovinos españoles, y de acuerdo a los valores obtenidos de L* a* y C* las clasificaron en dos grupos: razas de carne oscura (Asturia de la Montaña y Morucha) y razas de carne clara (Asturia de los Valles, Pirenaica y Ávileña-negra Ibérica), lo que nos refuerza la idea del cambio de color de la carne de acuerdo al tipo racial.

Algunos autores mencionan que la apariencia visual de la carne se puede ver afectada por el marmoleo, ya que este va a incrementar la luminosidad (valores de L*), pero este incremento también está influenciado por el metabolismo muscular. Esto se comprende al observar a los animales que tienen doble músculo, como el Belgian Blue, los cuales tienen una carne ligeramente pálida en comparación con los que no tienen doble músculo, ya que estas razas especializadas han desarrollado un cambio a un mayor contenido de fibras musculares blancas (Fiems *et al.*, 2000).

El color de la carne varía de acuerdo a la edad del animal. Powell (1991) encontró que el músculo *Longissimus* proveniente de animales jóvenes (18 meses de edad) es significativamente ($P < 0.05$) más claro (pálido) y menos rojo que aquel de animales más viejos (54 meses de edad). Esto se debe a que la concentración del pigmento hemo aumenta con la edad (Cuadro 4) (Moon *et al.*, 2006; Walczycka *et al.*, 2005) debido a una disminución en la capacidad de oxigenación celular (Duarte *et al.*, 2011), por lo que en animales viejos se observa un color más oscuro (Patten *et al.*, 2008).

Cuadro 4. Pigmentos hemo (contenido hematíe) en los músculos de ganado bovino (medias \pm error estándar).

Edad	Músculo	Contenido hematíe
Ternera	<i>m. psoas major</i>	12.12 \pm 0.35
	<i>m. semitendinosus</i>	7.23 \pm 0.31
	<i>m. sternomandibularis</i>	9.27 \pm 0.89
	<i>m. trapezius</i>	9.84 \pm 0.56
Vaquilla	<i>m. psoas major</i>	10.48 \pm 1.08
	<i>m. semitendinosus</i>	11.45 \pm 0.95
	<i>m. sternomandibularis</i>	15.57 \pm 1.49
	<i>m. trapezius</i>	16.23 \pm 0.60
Vaca	<i>m. psoas major</i>	17.39 \pm 1.48
	<i>m. semitendinosus</i>	15.31 \pm 1.27
	<i>m. sternomandibularis</i>	21.39 \pm 1.17
	<i>m. trapezius</i>	20.62 \pm 1.43

Fuente: Walczycka (2005)

El tipo de alimentación es otro factor que incide en el color. Los animales alimentados con concentrados producirán carne de color más rojo y menos oscuro (los valores de L^* aumentan) si se compara con la de animales engordados a base de forrajes (Figura 12) (Boleman *et al.*, 1996; Priolo *et al.*, 2001; Warner *et al.*, 2010). Priolo *et al.*, (2001), reportó que existe una regresión lineal significativa entre L^* y el tiempo en pastoreo ($P < 0.001$; $r^2 = 0.74$). Por lo que animales finalizados en forrajes durante un periodo de 150 días presentaron valores de L^* 5% más bajos, comparados con aquellos fueron alimentados con concentrado.

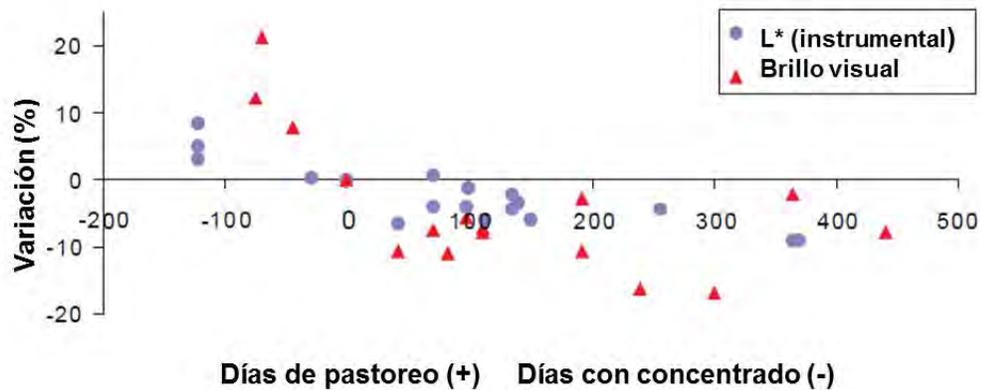


Figura 12. Variación (%) de valores instrumentales de L^* de la evaluación visual de la luminosidad en músculo *longissimus* de ganado después de alimentación en pastoreo o alimentación con concentrado. Fuente: Priolo (2001)

Debe de considerarse que algunos componentes de las dietas, tales como los destilados solubles provenientes de los subproductos del maíz para la producción de etanol, tienden a producir efectos negativos en el color de la carne. Leupp *et al.*, (2009), observó que la inclusión de un 30% de destilados solubles en el periodo de crecimiento de los animales tiende a reducir los valores de L^* y b^* , mientras que la misma inclusión durante el periodo de finalización disminuye los valores de a^* y b^* .

La industria cárnica ha puesto énfasis en el estudio de componentes funcionales (Zhang *et al.*, 2010) con el objetivo de mejorar la calidad y vida de anaquel de la carne. Tal es el caso del uso de antioxidantes, como la vitamina E, en las dietas de finalización, la cual mantiene valores de a^* y b^* por más tiempo (Bloomberg *et al.*, 2011); además, ésta incrementa la estabilidad de los lípidos y por ende el color de la carne durante el almacenamiento. De igual manera, la vitamina E ha demostrado favorecer la estabilidad del color en productos envasados en atmósferas modificadas con alta concentración de oxígeno (McMillin, 2008).

Es común que en las dietas de los animales se empleen promotores del crecimiento como los beta-agonistas o los corticosteroides (Courtheyn *et al.*, 2002). Dentro de los beta-agonistas se encuentran al clenbuterol, zilpaterol e hidroclorehidrato de ractopamina. Si bien el clenbuterol es un producto prohibido para su uso en la industria cárnica, está demostrado que éste incrementa los valores de L^* , debido a que hay una disminución en la capacidad de retención del agua, con lo que aumenta la reflectancia de la capa acuosa de la superficie del músculo, lo que es asociado con un color de músculo más claro, a esto debe de adicionarse que el clenbuterol causa una reducción de la concentración del anillo hemo, ya que los beta-agonistas inducen una hipertrofia muscular causando un efecto de dilución (Geesink *et al.*, 1993).

El color y pH son los principales indicadores de calidad de la carne (Goñi *et al.*, 2007; Wulf *et al.*, 1997; Wulf y Wise, 1999). Ambos parámetros se ven afectados en mayor medida por el estrés *ante mortem* y este último puede exacerbarse dependiendo de la estación en la que se matan animales. Weglarz (2010) indica que carne de animales matados en verano, en especial toros jóvenes, se ve más afectado el color, ya que el 30% de estos presentaron un pH mayor a 6.2 y por ende cortes oscuros. Esto se debe a que el estrés crónico previo a la matanza activa el sistema simpático-adrenal estimulando la liberación de catecolaminas, estas inducen el agotamiento del glucógeno muscular *ante-mórtem* con lo que hay menor producción de ácido láctico *post-mórtem*, y por lo tanto un elevado pH muscular posterior a la matanza. De esta forma se originan los cortes oscuros, los cuales incrementa la absorción de luz y capacidad de retención de agua (Wulf *et al.*, 2002). La importancia de los cortes oscuros está en el impacto económico debido a su apariencia, lo que origina que el consumidor se reúse a comprar una carne de color muy oscuro (Figura 13), además de otras implicaciones, como la escasa disminución del pH y el exceso de retención de agua que predisponen a la contaminación microbiana (Pérez *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2006).

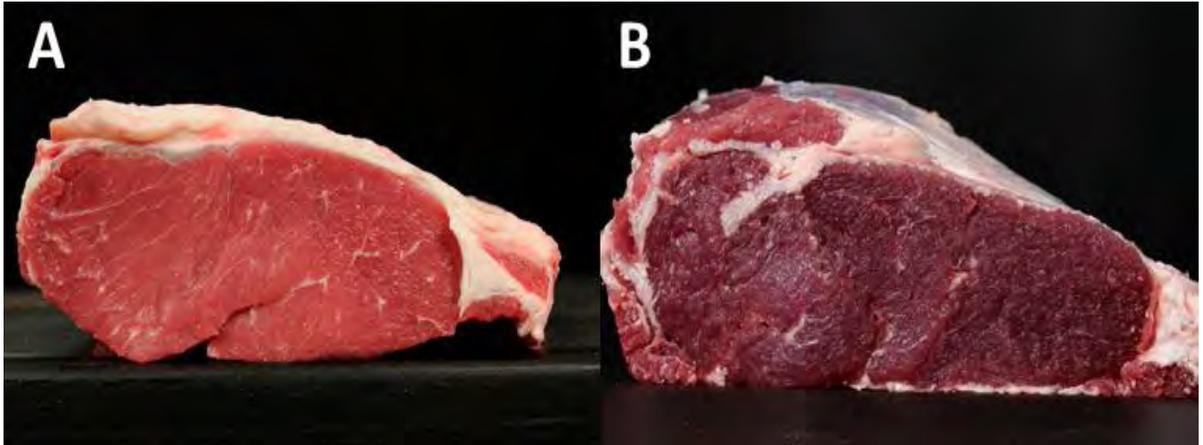


Figura 13. (A) Carne de coloración normal; (B) Corte oscuro

El ciclo posterior a la matanza está encaminado a la maduración y preservación de la carne, por lo que ésta se verá sometida a diversos tratamientos (Warner *et al.*, 2010). La estimulación eléctrica es empleada para favorecer la maduración de la carne y evitar el acortamiento por frío (Li, 2011). Aunado, la estimulación eléctrica va a favorecer la presentación de una carne más brillante y roja (valores de L^* , a^* y b^* más altos), debido a un aumento de la capacidad de oxigenación de la mioglobina a las 24 horas *post mortem* (Figura 14) (Li *et al.*, 2011).

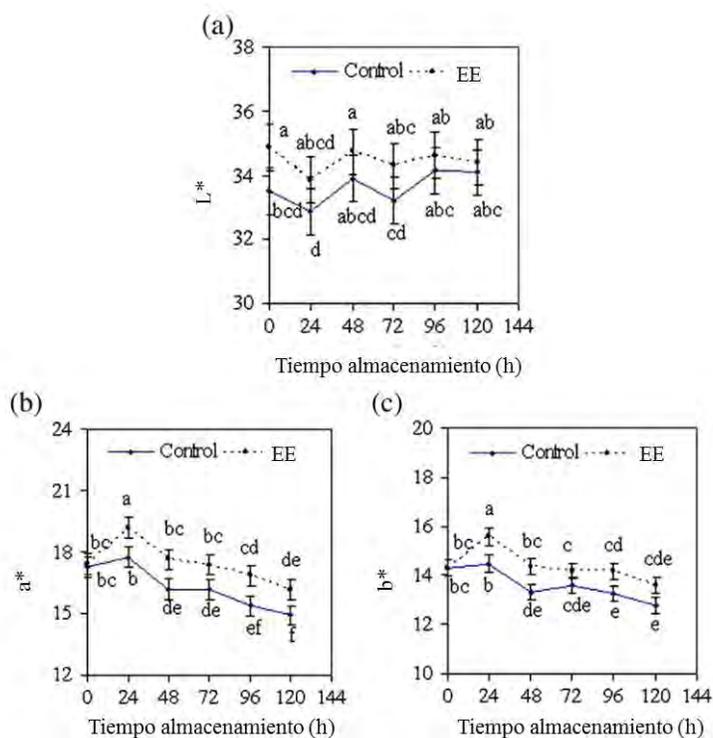


Figura 14. Efectos de la estimulación eléctrica y del tiempo de almacenamiento en la estabilidad del color del músculo *Longissimus* de bovino (Medias, SE). (a) valores de L*; (b) valores de a*; (c) valores de b*. a, b, c, d... Diferente letras indican diferencia significativa (P<0.05) entre todos los subgrupos. Adaptado de Li *et al.* (2011)

La radiación ionizante es un método empleado para inhibir el crecimiento bacteriano en la carne, pero con efectos negativos en el color de la carne. Millar *et al.* (2000) observaron que la carne irradiada es menos roja (valores más bajos de a*) conforme transcurría cada día de almacenamiento (Millar *et al.*, 2000) (Figura 15). Esto debido a que la mioglobina es susceptible a la entrada de energía, siendo el anillo hemo el que sufre alteraciones (Zhou *et al.*, 2010).

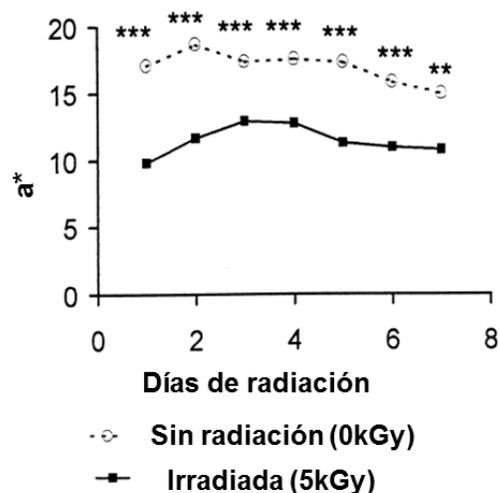


Figura 15. Efecto de la irradiación y los días de almacenamiento en a^* provenientes de la superficie de carne de res. Diferencias entre carne no-radiada y radiada para cada día: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$. Fuente: Millar *et al.* (2000)

Finalmente podemos mencionar el efecto de la alta presión hidrostática en el color de la carne, este proceso es empleado para la conservación de alimentos y su objetivo es inhibir el crecimiento bacteriano. Desgraciadamente tiene efectos indeseables en el color de la carne, ya que esa presión da como resultado la oxidación de la mioglobina, además de la desnaturalización de proteínas como la miosina y actina, lo que resulta en una opacidad y minimiza la apariencia roja de la carne (disminución de los valores L^* y a^*) (Zhou *et al.*, 2010).

Experiencias internacionales en la evaluación del color

La clave del éxito en la mercadotecnia es producir de forma constante lo que el consumidor quiere y a un precio competitivo (Egan *et al.*, 2001). Bajo esta temática se comprende el origen de los estándares para evaluación de carne de bovino alrededor del mundo, donde se ha dado relevancia a ciertos atributos sensoriales de la carne, siendo la evaluación subjetiva del color uno de ellos. Así, los estándares son herramientas importantes para la diferenciación y comunicación sobre la calidad de cierto producto, por lo que algunos países los emplean como estrategia competitiva.

En Estados Unidos, los patrones visuales para evaluar el color de la carne surgen desde 1926 como resultado de la presión de los productores, con el objetivo de proveer un lenguaje común por aquellos implicados en la comercialización de ganado, fomentar desarrollo de productos con valor agregado y mejorar de esta forma la producción del ganado (Howe, 1929; Japan Meat Grading Association, 2000; Mackintosh, 1936).

En la actualidad, los estándares de gradación de carne de USDA consideran tres atributos para determinar el grado de calidad de la carne: el marmoleo, la madurez y el color de la carne. Éste último evaluado con los estándares para la evaluación del color de la carne de bovino, conformado por patrones fotográficos y consta de 8 categorías visuales para el color (Figura 16) (Japan Meat Grading Association, 2000).



Figura 16. Estándares visuales para color de res. Fuente: *USDA*

Este estándar es una herramienta eficiente para ordenar las canales de forma uniforme y consistentemente, lo que ha permitido determinar defectos en las canales como los cortes oscuros y hemorragias musculares (blood splash, por su nombre en inglés). Sin embargo presenta algunas desventajas, porque no puede ser realizado por cualquier persona y se requiere personal entrenado, además de que no deja de ser una forma de evaluación subjetiva, que va a depender del criterio del evaluador (Agriculture Horticulture Deevlopment Board, 2008; Beef Improvement Federation, 2008; Tatum, 2007).

En Australia, país donde se exporta más del 60% de su producción a más de 100 países, los estándares se han convertido en una herramienta esencial de la industria cárnica, ya que de esta forma se crean categorías “deseables” e “indeseables”, con la respectiva mejora en el precio del producto final (Agriculture Horticulture Deevelpment Board, 2008); este estándar consta de colores solidos con 8 categorías de referencia que muestra los colores predominantes. Cuando no exista un color predominante, se tomará como referencia el tono más oscuro para asignarlo a la canal. Un punto clave consiste en que todas las canales que tengan una puntuación de color “4” o arriba de esta, son consideradas como cortes oscuros con la respectiva disminución en el precio de estas (Figura 17).



Figura 17. Evaluación visual de la carne a nivel industrial. Fuente: Handbook of Australian Meat (2005)

El estándar canadiense tiene sus inicios en 1929 y consta de cuatro categorías visuales de color. En Japón se creó el Japanese Meat Grading System en 1971, el cual considera la evaluación del color con siete categorías las cuales pueden ser gradadas en tres grados. Si bien el estándar emplea patrones solidos de color, a diferencia del australiano, este considera también al brillo de la carne, por lo que la decisión final de la gradación depende de ambos atributos (Figura

18). Por último podemos citar los casos de Brasil, Argentina, Uruguay y Chile, países en los que se emplean sus propios estándares para evaluar el color. Sin embargo no sucede lo mismo con el resto de Sudamérica, donde sin bien cuentan con estándares oficiales para la evaluación del color, estos no son implementados, por lo que las compañías emplean sus propios esquemas de evaluación, o bien se apegan a las especificaciones de los países a los que se exporta (Polkinghorne y Thompson, 2010).

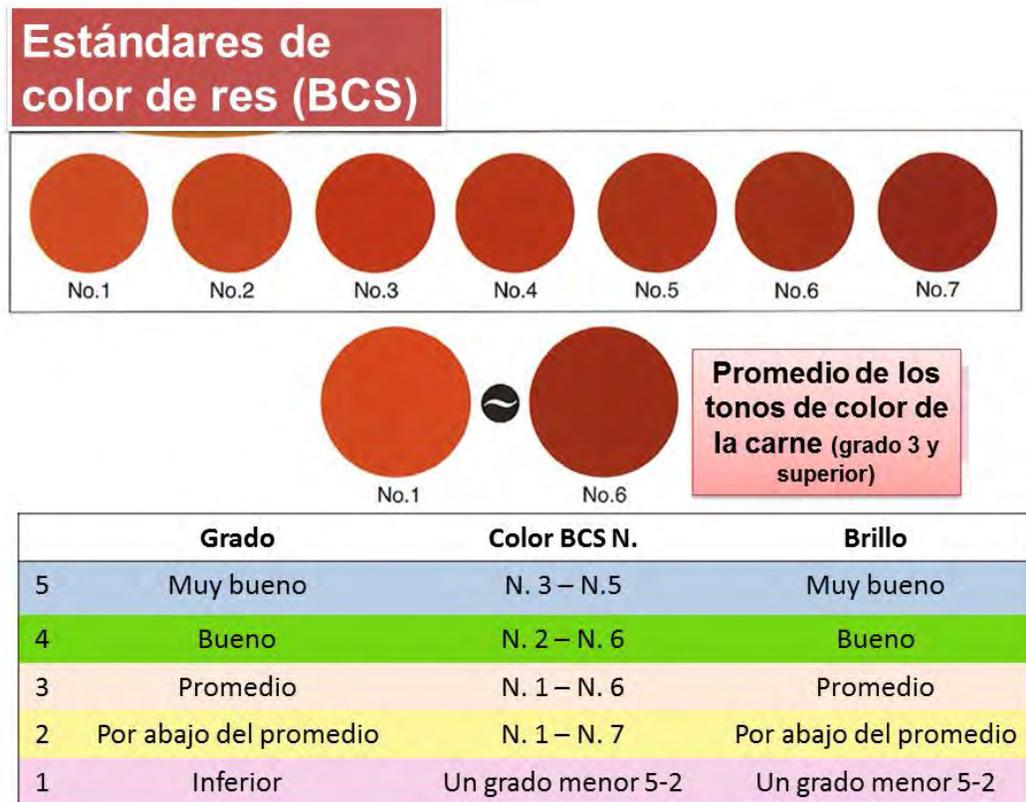


Figura 18. Estándares de color de carne de res de Japón. Fuente: Japan Meat Grading Association (2000)

Situación actual del marco regulatorio mexicano en materia de color y calidad de la carne

La carne de bovino es la segunda más consumida en México, con un consumo *per capita* anual de 17.4 kg (FAOSTAT, 2013). A pesar de ello, la comercialización de la carne no se realiza con base en un esquema de diferenciación de atributos de calidad. Si bien existe una norma (NMX-FF-078-SCFI-2002) para la clasificación de la carne de bovino en canal, la cual considera dentro de su evaluación al color, su aplicación es prácticamente nula.

Ante estas desventajas, la cadena de industrialización de carne ha buscado abrirse paso en el mercado internacional, cubriendo las exigencias de este, por lo que algunos industriales se han dado a la tarea de crear un lenguaje común en la clasificación de sus canales. Ejemplo de ello son las iniciativas desarrolladas en el estado de Baja California (UGR-BC_20009) y en Tabasco (Tabasco, 2013), los cuales han diseñado sus propios métodos de evaluación del color. No obstante, estos esfuerzos tienen un alcance limitado, como en el caso de la experiencia de Tabasco; o bien, se basan en datos del ganado de otros países, como en el caso de Baja California.

Existen investigaciones mexicanas en materia de color tales como las de Pérez *et al.* (2006), emplearon mediciones instrumentales para la identificar la incidencia de cortes oscuros. De este modo evaluaron canales de una planta TIF del estado de Baja California, donde la incidencia de cortes oscuros fue del 8.15%, asociándola a factores de manejo previos a la matanza (Pérez *et al.*, 2006).

Posteriormente, bajo ésta misma línea de investigación en 2008, se asocia además de los factores de manejo, el estrés calórico durante la época de verano como factor involucrado en el incremento de la incidencia (15.43%) de cortes oscuros en ganado bovino (Peréz *et al.*, 2008).

Torrescano *et al.*, (2010) caracterizaron el color de la carne de bovino de dos productores en el estado de Sonora. Ellos encontraron diferencias ($P < 0.05$) en los valores de L^* y b^* de cada población (Cuadro 5). La carne del productor B tuvo una apariencia más clara (valores más altos de L^*) y un mayor índice de amarillez (valores más altos de b^*), asociado esta última variable a que la carne de estos animales presentó un mayor grado de marmoleo en comparación con los del productor A.

Cuadro 5. Variables instrumentales del color (media \pm desviación estándar) en carne de bovino de dos productores del estado de Sonora

Variable	Productor A	Productor B
L*	35.04 ^b \pm 1.99	37.28 ^a \pm 2.18
a*	21.42 ^b \pm 2.96	21.15 ^a \pm 2.92
b*	10.95 ^b \pm 1.27	12.19 ^a \pm 1.15

^{ab} Medias con letras diferentes en una misma fila difieren significativamente (P<0.05)

Adaptado de Torrescano (2010)

Si bien en el país existen algunas investigaciones respecto al color de la carne de bovino, estas son escasas, y solo de aplicación local o estatal. Debido a esto, nos encontramos con la problemática de no conocer el comportamiento del color de la carne de bovino en el plano nacional (Zorrilla *et al.*, 2013).

Debido a las deficiencias que presenta el país en cuanto a la evaluación de la calidad de la carne, la cual involucra varios factores además del color, se dio pie a la creación del plan rector del sistema-producto bovinos-carne. Este contempla entre sus objetivos estratégicos la mejora del marco normativo en materia de calidad (SAGARPA *et al.*, 2007), incluido el color. Razón por la cual es necesario recabar datos sobre el comportamiento del ganado nacional, y emplearlos en la generación de un patrón visual para la evaluación del color de la carne a nivel industrial. De esta forma se podrá caracterizar al producto para diferenciarlo y establecer estímulos que beneficien a toda la cadena productiva, iniciando por el productor y que este beneficio llegue finalmente al consumidor, obteniendo este último un producto de valor agregado.

Objetivo

Desarrollar un patrón de color científicamente sustentado para la evaluación subjetiva de la carne de bovino mexicana a partir de datos obtenidos de canales provenientes de rastros Tipo Inspección Federal (TIF).

Justificación

La mejora regulatoria en materia de calidad está contemplada entre las demandas estratégicas para contribuir a mejorar las condiciones de competencia a nivel nacional e internacional de los productos cárnicos de México. Es por ello que se requiere generar información científicamente sustentada sobre los atributos de calidad, incluyendo el color, en la carne mexicana.

La descripción y evaluación de los atributos de calidad que prevalecen en el producto nacional permitirá contrastar los mismos con las preferencias de los consumidores nacionales. Como resultado, se podrán generar documentos técnicos y normativos que faciliten a los productores satisfacer las demandas actuales del consumidor mexicano en materia de calidad de la carne en general y del color en particular.

Hipótesis

Debido a los diferentes sistemas de producción, alimentación, genética, raza, edad, sexo, etc., que persisten a lo largo del país, se espera encontrar una gran variabilidad en el color de la carne de bovino en México, por lo que se pretende describir entre 5 y 10 grupos homogéneos que puedan caracterizar el color en la carne de bovino en canal.

Materiales y métodos

Los datos se obtuvieron a partir de 1165 canales de ganado vacuno de diversas razas y orígenes, las cuales fueron procesadas en 4 rastros Tipo Inspección Federal (TIF), entre noviembre de 2012 y julio de 2013. Las lecturas se realizaron en el área de corte y deshuese de cada planta TIF a las 24 horas *post mortem* en el ojo de la chuleta (músculo *Longissimus*) entre la 12 y 13ava costillas. Para una óptima oxigenación de la mioglobina, se trabajó con carne a una temperatura no mayor de 2°C y un tiempo de oxigenación mínimo de 30 minutos.

Las condiciones de iluminación fueron estandarizadas con luz incandescente, para corroborar la intensidad de esta se empleó un fotómetro (Figura 19) y se ajustó la temperatura del color con un foco Osram a 3200°K, el cual provenía de una lámpara de calidad fotográfica que se colocó a 45° de cada chuleta a una intensidad de 1614 luxes (150 candelas).



Figura 19. Estandarización de condiciones de iluminación con ayuda de un fotómetro.

Una vez oxigenados los lomos a cada uno se le tomó una foto de alta resolución con ayuda de un fotógrafo profesional. Para la toma de las fotos se empleó una cámara Nikon D300S de 12 megapíxeles, con un lente Zoom de 24-70mm f/2.8 marca Sigma (Figura 20). En la toma de las fotografías se empleó un fondo negro para eliminar diferencias de color asociadas con la superficie de la carne.



Figura 20. Toma de foto y evaluación visual.

Enseguida el color de cada chuleta fue calificado según el patrón visual de color para carne de bovino, de 8 niveles de EUA (Tatum, 2007). Éste patrón de color de EUA fue usado únicamente como orientación para determinar el número de categorías visuales que tendría el patrón que se desarrolló.

Para la medición objetiva del color se empleó un espectrofotómetro Hunter MiniScan EZ modelo 4500L de Hunter Associates Laboratory Inc., el cual está configurado con un iluminante A, observador 10°, especular excluido y un tamaño de apertura del puerto de 25mm. El espectrofotómetro se comunicó con el software OnColor Match de Cyberchrome de Konica Minolta para la captura de los datos y curvas espectrales. El espectrofotómetro fue calibrado al iniciar la toma de lecturas y posteriormente cada 100 lecturas empleando la trampa negra y el azulejo blanco dados por el fabricante.

Se realizaron cuatro lecturas por chuleta, para luego ser promediadas. A partir de éstas, se obtuvieron los valores promedio de L^* , a^* , b^* , h^* y C^* de cada chuleta en la escala CIEL a^*b^* con sus respectivas curvas espectrales (Figura 21).



Figura 21. Toma de medidas objetivas con Hunter MiniScan EZ conectado al software OnColor de Konica Minolta

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el software Statgraphics XV Centurion para Windows (Statpoint, Inc.). Se compararon los valores de L^* , a^* , b^* , h^* y C^* en las diferentes categorías visuales previamente establecidas. Dado que L^* es la variable que mejor se correlaciona con las categorías visuales previamente establecidas, se construyeron los intervalos de confianza de esta variable al 95% dentro de cada categoría visual para conformar el patrón visual.

Resultados

Comportamiento general del color y desarrollo del patrón para la evaluación del color en carne de bovino

En la primera etapa del trabajo se empleó el estándar de color de USDA, conformado por ocho categorías visuales. Sin embargo, en el presente trabajo se definieron solo 7 categorías. Si bien existían diferencias numéricas dadas por espectrofotómetro entre las últimas categorías, estas ya no eran detectables por el evaluador.

Las categorías visuales fueron nominadas de la siguiente forma; tonos pálidos (1A y 1B), tonos rojo cereza (2A y 2B), rojo intenso (3), rojo oscuro (4) y cortes oscuros (5 en adelante).

Del total de muestras analizadas para elaborar el patrón (n=1165) menos del 4% corresponden a la primera categoría visual, considerada como la más pálida, mientras que menos del 2% corresponden a la última categoría visual que es considerado como los tonos más oscuros. Poco más del 30% de los datos se encuentra dentro del tono rojo cereza brillante (Cuadro 6), que suele ser el más atractivo para los consumidores en el punto de venta.

Cuadro 6. Tamaño de muestra de cada categoría visual (n=1165)

Categoría	n
1a	46
1b	150
2a	309
2b	384
3	192
4	64
5	20

En el Cuadro 7 se muestran las medias de cada una de las variables analizadas para cada categoría visual. Como se puede apreciar, L* es la variable que explica mejor las diferencias dentro de las categorías visuales (Figura 22).

Cuadro 7. Medias de L* a*, b* h* C* para cada categoría visual (n=1165)

Categoría	L*	a*	b*	h*	C*
1a	48.45	27.65	20.42	36.42	34.38
1b	45.76	27.83	19.74	35.26	34.13
2a	43.29	27.21	18.67	34.36	33.01
2b	40.79	26.60	17.63	33.43	31.92
3	38.19	25.36	16.26	32.57	30.14
4	35.75	23.77	14.65	31.48	27.94
5	33.04	20.30	11.39	29.23	23.28

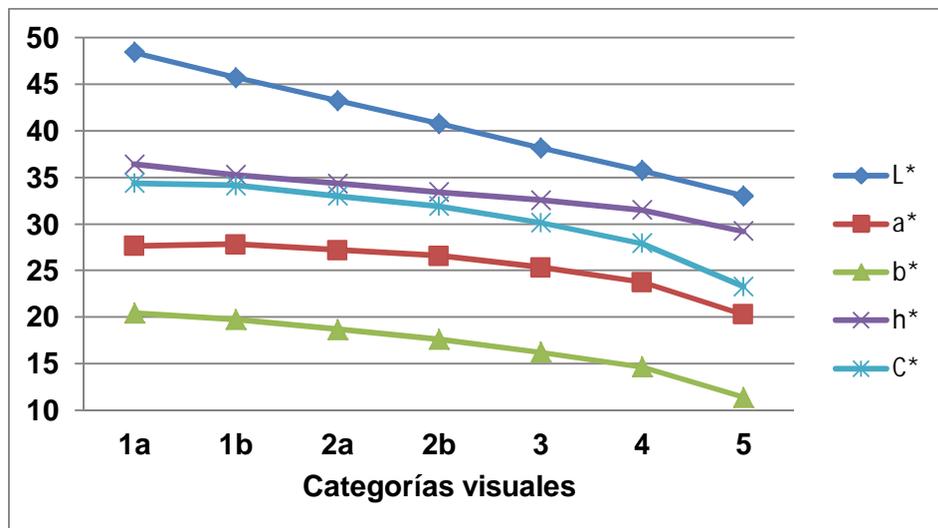


Figura 22. Comportamiento de L*, a*, b*, C*, h* en las diferentes categorías visuales.

El uso de L* como criterio para conformar las categorías visuales del patrón, se basa en que existe una asociación negativa del 0.97 entre las categorías visuales y L* y esta asociación es significativa (P=0.000) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Correlaciones de Pearson de las diferentes variables con las categorías visuales; n=1165

	L*	a*	b*	h*	C*	MMB%	DMB%	OMMB%
Categoría Visual	-0.97**	-0.49**	-0.59**	-0.54**	-0.66**	0.56**	0.85**	-0.43**

** Correlaciones significativas al 0.01 (prueba de dos colas)

En la Figura 23 se muestra el patrón para la evaluación de color de carne de bovino, el cual fue elaborado a partir de los intervalos de confianza de los valores de L^* de cada categoría visual (Cuadro 9). Este patrón consta de 7 categorías visuales homogéneas. Las primeras dos categorías (1a y 1b) corresponden a los colores más pálidos y estos a la vez coinciden con valores más altos de L^* . Conforme cada categoría visual aumenta su valor nominal los valores de L^* decrecen, de este modo las categorías 2a y 2b corresponden a los colores rojos cereza, la categoría 3 al rojo intenso, la categoría 4 al rojo ligeramente oscuro y finalmente la categoría 5 indica la carne proveniente de cortes oscuros, siendo esta categoría la que presenta los valores más bajos de L^* y que se corresponde con el color descrito en el patrón visual para evaluar el color.

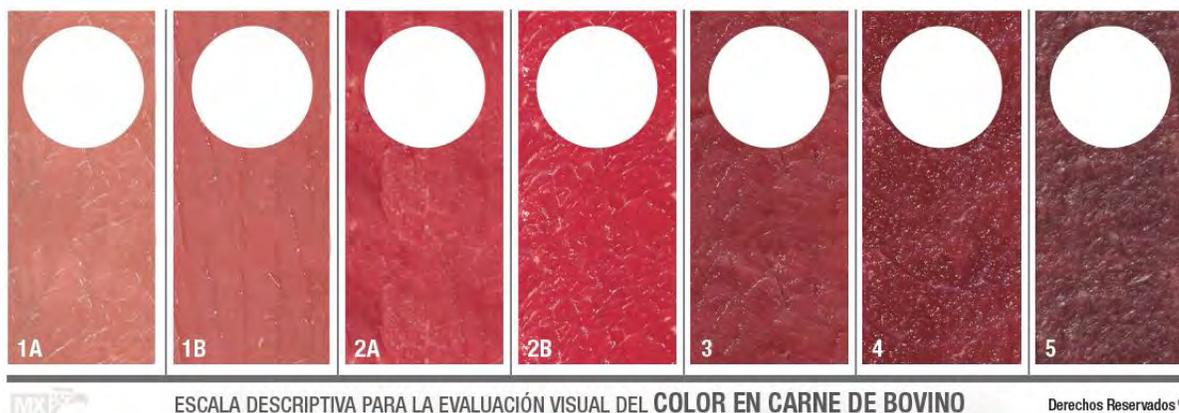


Figura 23 Patrón para la evaluación visual del color de la carne de bovino

Cuadro 9. Intervalos de confianza (95%) para L^* dentro de cada categoría visual

Categoría visual	IC
1a	48.10-48.79
1b	45.64-45.87
2a	43.21-43.37
2b	40.71-40.86
3	38.08-38.31
4	35.57-35.92
5	32.69-33.40

En las Figuras 24, 25, 26 y 27 se muestran las distribuciones de frecuencias de L^* dentro de cada categoría visual para cada uno de los rastros muestreados.

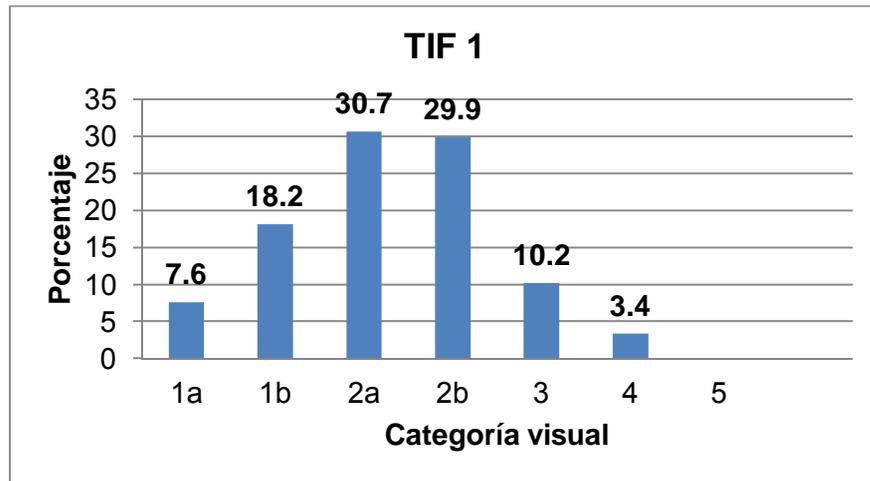


Figura 24. Frecuencia relativa de cada categoría visual, según valores de L^* , para el rastro TIF 1 (n=264)

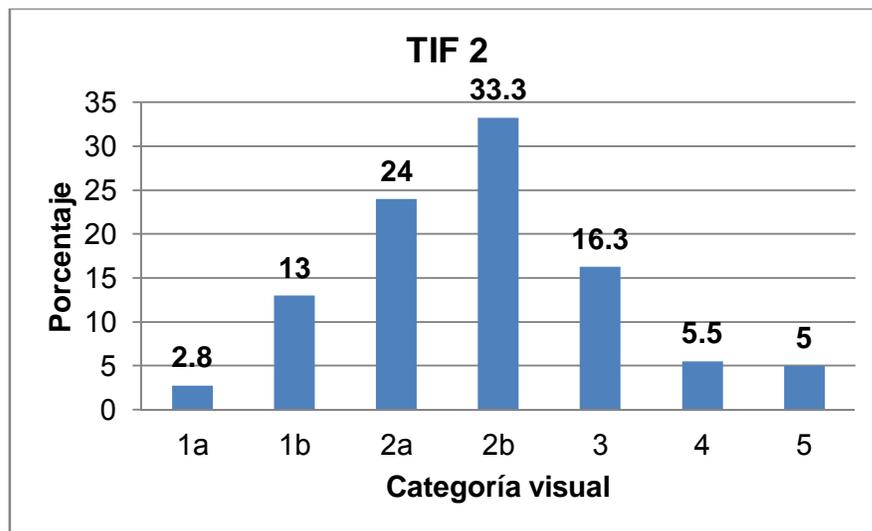


Figura 25. Porcentajes de L^* dentro de cada categoría visual para el rastro TIF 2 (n=324)

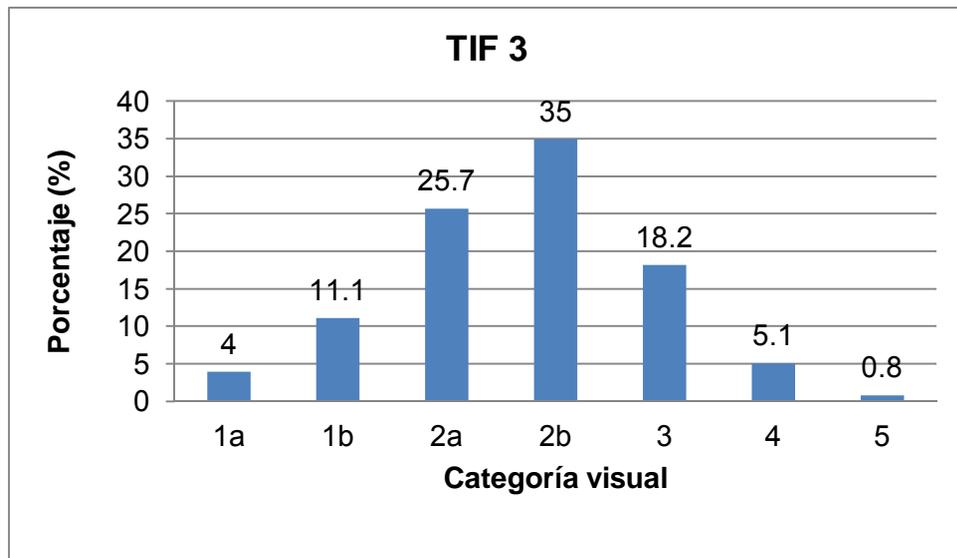


Figura 26. Porcentajes de L* dentro de cada categoría visual para el rastro TIF 3 (n=405)

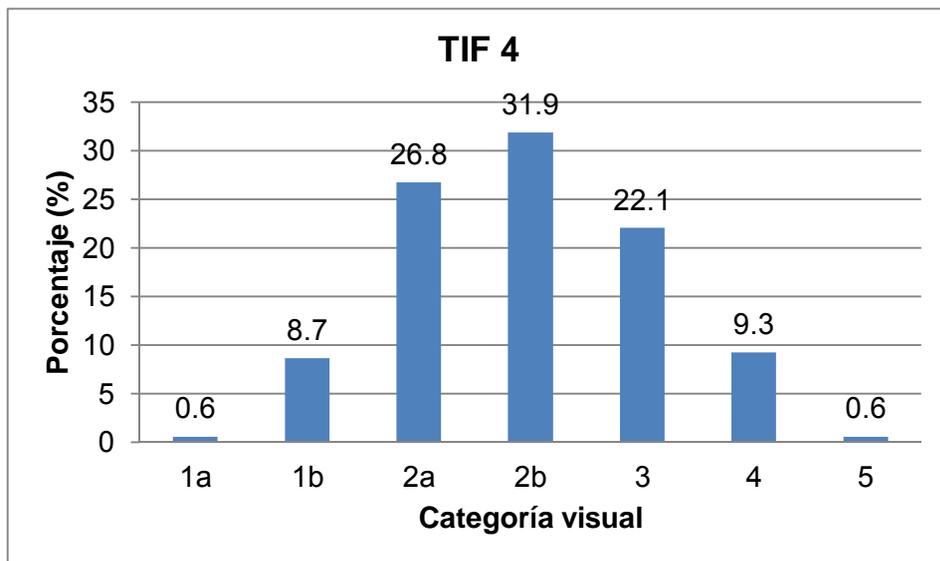


Figura 27. Porcentajes de L* dentro de cada categoría visual para el rastro TIF 4 (n=172)

Comportamiento de MMB, OXM, DMB de acuerdo a cada categoría visual

Con los puntos isobéuticos de las diferentes formas redox de la mioglobina y de acuerdo a la fórmula de Krzywicki (1979), se calcularon los porcentajes de cada una de éstas. En el Cuadro 10 se muestran las medias de MMB, OXMB, DMB en cada categoría visual. En la Figura 28 se muestran las medias de deoximioglobina (DMB) dentro de cada categoría visual. La tendencia nos muestra que conforme la carne tiende a ser más oscura, la concentración de deoximioglobina es mayor.

Cuadro 10. Medias de la concentración estimada de metamioglobina (MMB), deoximioglobina (DMB) y oximioglobina (OMB) en cada categoría visual (n=1165)

Categoría visual	MMB	DMB	OMM
1A	26.94	8.87	64.18
1B	28.27	9.03	62.69
2A	28.89	9.66	61.43
2B	29.84	9.97	60.17
3	30.52	10.54	58.97
4	31.05	11.83	57.10
5	30.83	16.52	52.63

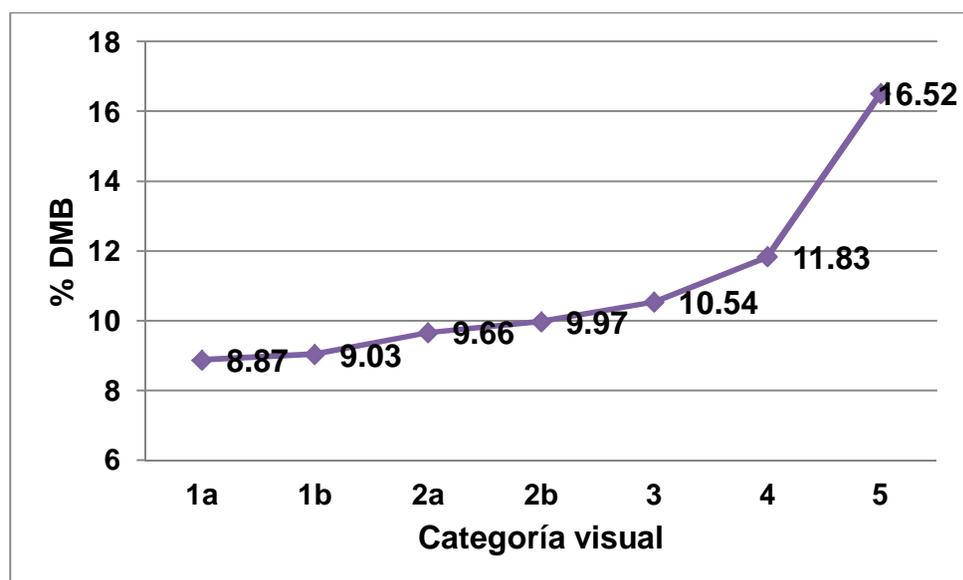


Figura 28. Medias de (Deoximioglobina) DMB para cada categoría visual (n=1165)

En la Figura 29 se muestran las medias de la oximioglobina (OMB) para cada categoría visual, conforme la concentración de oximioglobina disminuye en la carne, ésta va adquiriendo una tonalidad más oscura.

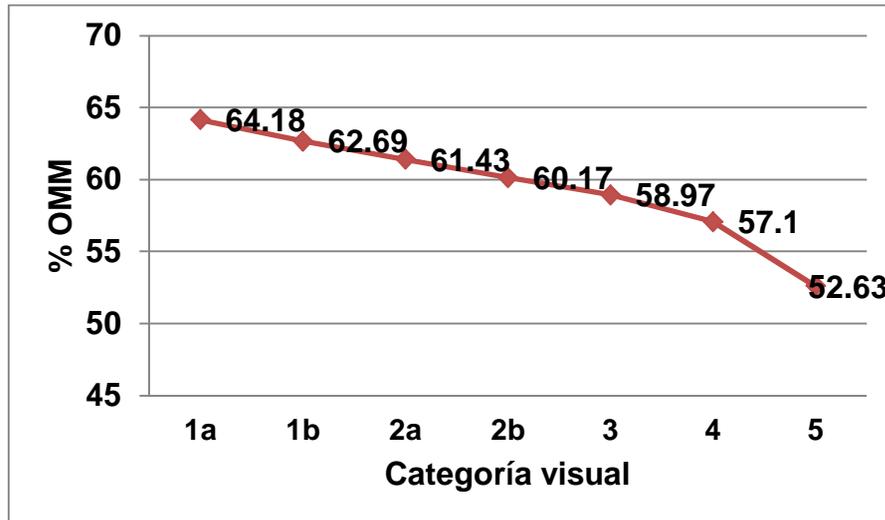


Figura 29. Medias de la (oximioglobina) OMB para cada categoría visual (n=1165)

En la Figura 30 se muestran las medias de MMB para cada categoría visual, se aprecia que conforme la concentración de metamioglobina aumenta, la tonalidad de la carne se vuelve más oscura.

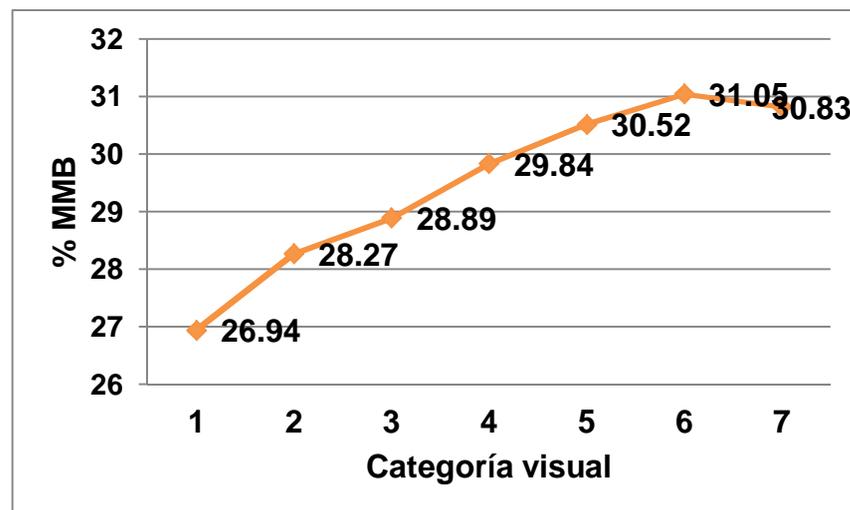


Figura 30. Medias de la metamioglobina (MMB) para cada categoría visual (n=1165)

Discusión

El patrón desarrollado en este trabajo puede ser una herramienta de gran ayuda para complementar la evaluación del color de la carne de bovino en México. Será el primer patrón con sustento científico, de alcance nacional y elaborado a partir de datos del ganado mexicano. El empleo de las mediciones instrumentales como base para su elaboración le aportan un fuerte sustento técnico, pues se ha demostrado que estos métodos se encuentran altamente correlacionados con la apariencia visual de la carne (Denoyelle y Berny, 1999; Goñi *et al.*, 2007; Goñi *et al.*, 2008). Si bien el color no debe ser usado como predictor único de la calidad de la carne, es una variable que informa sobre otros atributos. Además, es un factor importante en la clasificación y/o gradación de canales para determinar el valor de estas (Carpenter *et al.*, 2001; Mancini y Hunt, 2005; Troy y Kerry, 2010; Wulf y Wise, 1999).

La propuesta del patrón mexicano para evaluar el color de la carne de bovino está conformado por 7 categorías visuales; un número que se encuentra en el orden de las categorías visuales – entre 7 y 8 – con que cuentan los patrones de EUA, Japón y Australia. Se asemeja al estándar de EUA (Tatum, 2007) en el empleo patrones fotográficos. Por otra parte, difiere de los patrones desarrollados en Japón y Australia, los cuales emplean colores sólidos en lugar de fotografías (AUS-MEAT, 2005; Japan Meat Grading Association, 2000).

Si bien el patrón australiano es ampliamente usado, el empleo de colores sólidos podría comprometer la percepción del color, ya que el ser humano percibe no solo el color, sino también la geometría de un objeto. Ambos factores determinan la apariencia del objeto y, en el caso de la carne de bovino, la geometría de ésta involucra la dirección de las fibras musculares, presencia de tejido conectivo e inclusive el marmoleo. En el presente trabajo se consideró la elaboración del patrón con base en colores sólidos. No obstante, las diferencias entre las categorías eran sutiles o muy pequeñas en comparación con las que se observaron en las fotos. Probablemente, la conversión de la escala de color del espacio CIEL*a*b* al formato de impresión CMYK (Cyan, Magenta, Yellow and Key, por sus siglas en inglés), el cual es un modelo de color que se emplea para la impresión en colores, impidió obtener un resultado similar al que se obtuvo en el patrón japonés o en el australiano. De cualquier manera, varios autores han

señalado que, para la evaluación subjetiva del color, el empleo de patrones fotográficos ofrece mejores resultados (Girolami et al., 2013; Metas y metrólogos asociados, 2007, 2009).

Esta propuesta de patrón para la evaluación del color de la carne de bovino en México, fue elaborado a partir de medidas instrumentales obteniendo los valores de L^* , a^* , b^* , h^* y C^* , los cuales en conjunto conforman un color específico en un lenguaje numérico. Sin embargo, en esta investigación L^* fue el mejor diferenciador de los colores de la carne. Este resultado va acorde a las investigaciones hechas por Lagoda *et al.* (2002), quienes evaluaron los músculos de flanco y lomo de ternera, y observaron que para el flanco los valores de L^* y las escalas visuales tienen un coeficiente de correlación de $r=-0.83$ a las 0 horas y un $r=-0.67$ a las 24 horas *post mortem*. Mientras que para el lomo fue de $r=-0.85$ y $r=-0.68$ a las 6 y 24 horas respectivamente.

En otra investigación Goñi *et al.* (2008) reportaron que la eficiencia del uso de referencias visuales y medidas instrumentales tiene una correlación mayor al momento del corte. Estos autores observaron una reducción en la magnitud de la correlación entre L^* y la evaluación visual del color, pues el coeficiente de correlación se redujo de -0.608 , al momento del corte, a -0.361 , una hora después del corte. La correlación que se observó en el presente trabajo ($r=-0.97$) es de mayor magnitud que la encontrada por Goñi *et al.* (2008) o Lagoda *et al.*, (2003), inclusive al realizarla a los 30 minutos *post mortem*. Esto se debe a que se empleó una escala visual preestablecida para guiarnos en la primera etapa del desarrollo del patrón, aunado a los estrictos criterios de estandarización durante la toma de las muestras (temperatura ambiental, oxigenación de la mioglobina, iluminación, así como la estandarización del espectrofotómetro (AMSA, 2012; Barbut, 2001; Goñi *et al.*, 2008; Konica Minolta Sensing, 2007). No obstante, se observa la misma asociación negativa entre L^* y la evaluación visual del color reportada en las investigaciones antes referidas. En el patrón desarrollado en el presente estudio, los colores pálidos de carne corresponden a las primeras categorías, con los valores de L^* más altos. Pero conforme el color se vuelve más oscuro, la categoría visual aumenta su valor y por ende los valores de L^* disminuyen.

Es de llamar la atención que las tres categorías 2a, 2b y 3 (correspondientes a rojos cereza y rojo intenso, representan el 75.96% del total de la muestra y que a la vez estos son considerados como los mejores tonos al momento de la gradación de canales. Si bien los extremos de la regleta indican los tonos menos deseados, el mayor problema al que se enfrenta la industria cárnica

es la incidencia de los cortes oscuros (Pérez *et al.*, 2006), contemplados en la quinta y última categoría visual.

De este modo el patrón para evaluación del color, no solo cumple su función de crear grupos homogéneos, si no que inclusive su implementación permite segregar canales con defectos, como los cortes oscuros (Wulf *et al.*, 2002). De acuerdo con estudios hechos por Carpenter *et al.* (2001), se sabe que la incidencia de cortes oscuros en EUA es del 1.5%. Este valor es muy parecido al encontrado en el presente trabajo (1.72%). Sin embargo, no debe de subestimarse esta cifra, ya que solo ese 1.5% ha originado pérdidas anuales hasta por 170 millones de dólares. Lo que abre la interrogante sobre cuál es la pérdida que están dejando los cortes oscuros en México.

La incidencia de los cortes oscuros no fue la misma en todos los rastros. Es de llamar la atención que en el rastro TIF 1 no se encontraron colores que puedan ser evaluados dentro de la categoría 5. En contraste, la categoría 1 abarca un 7.6% de la muestra de carne que se evaluó en ese rastro; mientras que el 78.8% de los datos se encuentran dentro de los colores claros.

De forma general, los rastros 2, 3 y 4 presentan un comportamiento muy parecido, agrupando aproximadamente al 80% de los datos en las categorías 2a, 2b y 3. En estos rastros se observó una mayor incidencia de tonalidades oscuras en comparación con el rastro 1, siendo el TIF 3 el que tuvo la incidencia más alta (5%).

Esta diferencia tan marcada se debe en mayor medida a los diferentes sistemas de producción, finalización y razas empleadas. Los animales provenientes del rastro TIF 1 corresponden al norte del país, el cual se caracteriza por un sistema de producción intensivo y una mayor inclusión de ganado *Bos taurus* (Boleman *et al.*, 1996; Crouse *et al.*, 1989; Duarte *et al.*, 2011; Warner *et al.*, 2010), originando de esta forma grupos con colores más claros y homogéneos en la gradación del color.

Por otro lado, la falta de homogeneidad y la mayor incidencia de cortes oscuros de los rastros 2, 3 y 4 son un indicador de la producción de ganado de carne en México, donde el sistema de producción en los trópicos con una alta inclusión de ganado *Bos indicus* incide de forma directa en la tonalidad de la carne (Boleman *et al.*, 1996; Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, 2009; Mendez *et al.*, 2009).

Al determinarse los porcentajes de las diferentes formas redox de la mioglobina en la superficie de la carne, es notorio que conforme la concentración de oximioglobina es mayor, la carne será evaluada dentro de los colores claros. Por el contrario, mientras aumenta la concentración de metamioglobina en la carne, ésta es evaluada dentro de las categorías más oscuras. Estos resultados van acorde a lo encontrado por Beriain *et al.* (2009), que si bien emplearon la técnica de extracto acuoso, determinaron que desde el momento del corte y después de la oxigenación de la mioglobina en la carne hay un aumento en la concentración de metamioglobina, disminución de la deoximioglobina y un aumento de la oximioglobina. Si bien estos resultados no se emplearon de forma directa para la creación del patrón, son un indicador del correcto tiempo de oxigenación de la mioglobina durante el muestreo.

Una vez definido el patrón para la evaluación el color, deben de darse lineamientos para su correcta implementación. Es indispensable la capacitación del personal que labora en las plantas, con la finalidad de que se lleve a cabo el correcto uso del patrón de color, ya que este fue elaborado bajo condiciones específicas. Por esta razón se requiere estandarizar rigurosamente los siguientes factores. En primer lugar, el tiempo de oxigenación de la mioglobina, que debe ser de 30 minutos como mínimo (AMSA, 2012), exponiendo el lomo al oxígeno ambiental. Además, el tipo de iluminación (Barbut, 2001) que debe ser incandescente, con temperatura del color de 3200 °K. Otro factor importante es, el control de la temperatura de la carne (<3°C) (AMSA, 2012; Denoyelle y Berny, 1999; Hulsegge *et al.*, 2001), así como el músculo a evaluar (Denoyelle y Berny, 1999; Hulsegge *et al.*, 2001; King *et al.*, 2010b; Smith *et al.*, 2008), que para efectos de este patrón es exclusivamente el *Longissimus* entre la 12ava y 13ava costilla.

Si bien el patrón desarrollado constituye una herramienta de gran ayuda en la evaluación de la calidad de la carne, deben de considerarse sus pros y sus contras. Como desventajas podemos citar la necesidad de ser empleado por personal capacitado, cuyo criterio en ocasiones puede estar sujeto a variaciones personales, cosa que no ocurre con un aparato. Adicionalmente, al inicio de su implementación su uso puede resultar algo complejo, como resultado de los diferentes factores que deben controlarse.

Partiendo del principio de que este trabajo fue rigurosamente estandarizado, los resultados obtenidos aquí tienen la ventaja de poder ser comparados o empleados posteriormente, ya sea por la industria cárnica o en futuras investigaciones, siempre y cuando se apeguen a la misma metodología.

De omitirse esto, se puede caer en errores de reportes de investigación y la correcta implementación de su metodología

Desafortunadamente, a pesar de que existen muchas investigaciones relacionadas con mediciones instrumentales del color de la carne de bovino, en la mayoría de los casos no se pueden comparar resultados, ya que presentan fallas en el reporte de su metodología. Tapp *et al.* (2011) identificaron que la mayoría de las publicaciones científicas no reportan el tipo de iluminante que emplearon, el tamaño del puerto de medición del instrumento o el número de lecturas promediadas, con lo que se impide la réplica y adecuada interpretación de los experimentos.

Por otro lado, las bondades que presenta este patrón para evaluación del color es que puede ser adaptable para efectuarse en las cámaras de refrigeración y enfriamiento o bien en las salas de corte, siempre y cuando existan las condiciones de iluminación adecuadas. Adicionalmente, si bien el patrón está concebido para la evaluación visual, las empresas que realicen evaluación instrumental pueden utilizar como referencia los intervalos de confianza de la media de cada una de las categorías visuales que aquí se reportan, siempre y cuando realicen sus mediciones en condiciones equivalentes.

Cabe resaltar la importancia del desarrollo de este tipo de herramientas como sistemas de gradación para implementarlos en los programas de aseguramiento de calidad, con lo que se asegura un lenguaje común, en materia de color, en la industria cárnica. Bajo este esquema, el patrón que aquí se presenta está diseñado para su uso a escala industrial y como herramienta descriptiva. No está diseñado para evaluar la preferencia de los consumidores, pues esto requiere de una escala hedónica y no de una descriptiva.

Finalmente, podemos agregar que debe de tenerse en mente que bajo el contexto de promover a la industria cárnica a través de bases científicas que determinen e identifiquen características deseables que requiere el consumidor, se ofrece una oportunidad para los productores, ya que un programa bien implementado provee beneficios a toda la cadena productiva.

Conclusiones

- Se ha generado una propuesta de patrón, científicamente sustentado, para la evaluación del color de la carne de bovino en México.
- El patrón desarrollado 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 datos provenientes del ganado bovino nacional.
- Debido a que este patrón está diseñado como una escala descriptiva para la evaluación del color a nivel industrial, no debe emplearse con paneles sensoriales enfocados a evaluar las preferencias de consumidores o en pruebas para sistemas de empaques.

Recomendaciones

- El empleo de este patrón requiere de una rigurosa capacitación del personal y estandarización de las condiciones para la evaluación. Deben de respetarse los tiempos de oxigenación de la mioglobina, la temperatura de la carne y el tipo de iluminación empleada. De otro modo se caerá en fallas que podrían invalidar los resultados que se obtengan.
- En un futuro cercano debe considerarse la validación de este patrón de color en condiciones industriales.
- Se sugiere la necesidad de realizar futuras investigaciones para conocer la incidencia de los cortes oscuros en el país, y sus repercusiones económicas en la industria cárnica. En tal sentido, el patrón presentado en este trabajo podría ser de utilidad.

Referencias bibliográficas

- Agriculture Horticulture Deevlopment Board 2008. Review of the EU carcass classification system for beef and sheep.
- AMSA, A.M.S.A. 2012. Meat Color Measurement Guidelines (Champaign, Illinois).
- Apple, J.K., Kegley, E.B., Galloway, D.L., Wistuba, T.J., Rakes, L.K., 2005, Duration of restraint and isolation stress as a model to study the dark-cutting condition in cattle. *Journal of Animal Science* 83.
- AUS-MEAT, 2005, Handbook of Australian Meat 7th Edition, Tingalpa DC, Australia.
- Barbut, S., 2001, Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts. *Meat Science* 59, 187-191.
- Bass, P.D., Scanga, J.A., Chapman, P.L., Smith, G.C., Tatum, J.D., Belk, K.E., 2008, Recovering value from beef carcasses classified as dark cutters by United States Department of Agriculture graders. *Journal of Animal Science* 86, 1658-1668.
- Beef Improvement Federation 2008. Guidelines for uniform beef improvement programs.
- Beriain, M.J., Goñi, M.V., Indurain, G., Sarriés, M.V., Insausti, K., 2009, Predicting Longissimus dorsi myoglobin oxidation in aged beef based on early post-mortem colour measurements on the carcass as a colour stability index. *Meat Science* 81, 439-445.
- Bloomberg, B.D., Hilton, G.G., Hanger, K.G., Richards, C.J., Morgan, J.B., VanOverbeke, D.L., 2011, Effects of vitamin E on color stability and palatability of strip loin steaks from cattle fed distillers grains. *Journal of Animal Science* 89, 3769-3782.
- Boleman, S.J., Miller, M.F., Buyck, M.J., Cross, H.R., Savell, J.W., 1996, Influence of retroalimantation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *Journal of Animal Science* 74, 2187-2194.
- Carpenter, C.E., Cornforth, D.P., Whittier, D., 2001, Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Science* 57, 359-363.
- Courtheyn, D., Le Bizec, B., Brambilla, G., De Brabander, H.F., Cobbaert, E., Van de Wiele, M., Vercammen, J., De Wasch, K., 2002, Recent developments in the use and abuse of growth promoters. *Analytica Chimica Acta* 473, 71-82.
- Crouse, J.D., Cundiff, L.V., Koch, R.M., Koochmarai, M., C., S.S., 1989, Comparisons of *Bos Indicus* and *Bos Taurus* Inheritance for Carcass Beef Characteristics and Meat Palatability. *Journal of Animal Science* 67, 2661-2668.

- Denoyelle, C., Berny, F., 1999, Objective measurement of veal color for classification purposes. *Meat Science* 53, 203-209.
- Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial 2009. *Bovino y sus derivados*, Rural, F., ed. (Mexico).
- Duarte, M.S., Paulino, P.V.R., Fonseca, M.A., Diniz, L.L., Cavali, J., Serão, N.V.L., Gomide, L.A.M., Reis, S.F., Cox, R.B., 2011, Influence of dental carcass maturity on carcass traits and meat quality of Nellore bulls. *Meat Science* 88, 441-446.
- Egan, A.F., Ferguson, D.M., Thompson, J.M., 2001, Consumer sensory requirements for beef and their implications for the Australian beef industry. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 855-859.
- FAOSTAT 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations (<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/C/CL/S>).
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., Suman, S.P. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. In *Meat Science*, pp. 86-94.
- Fiems, L.O., De Campeneere, S., De Smet, S., Van de Voorde, Vanacker, J.M., Boucqué, C.V., 2000, Relationship between fat depots in carcasses of beef bulls and effect on meat colour and tenderness. *Meat Science* 56, 41-47.
- Geesink, G.H., Smulders, F.J., van Laack, H.L., van der Kolk, J.H., Wensing, T., Breukink, H.J., 1993, Effects on meat quality of the use of clenbuterol in veal calves. *Journal of Animal Science* 71, 1161-1170.
- Gil, M., Serra, X., Gispert, M., Oliver, M.A., Sañudo, C., Panea, B., Olleta, J.L., Campo, M.M., Oliván, M., Osoro, K., García-Cachán, M.D., Cruz-Sagredo, R., Izquierdo, M., Espejo, M., Martín, M., Piedrafita, J., 2001, The effect of breed-production systems on the myosin heavy chain 1, the biochemical characteristics and the colour variables of *Longissimus thoracis* from seven Spanish beef cattle breeds. *Meat Science* 58, 181-188.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Braghieri, A., 2013, Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science* 93, 111-118.
- Goñi, M.V., Beriain, M.J., Indurain, G., Insausti, K., 2007, Predicting longissimus dorsi texture characteristics in beef based on early post-mortem colour measurements. *Meat Science* 76, 38-45.
- Goñi, M.V., Indurain, G., Hernandez, B., Beriain, M.J., 2008, Measuring muscle color in beef using an instrumental method versus visual color scales. *Journal of Muscle Foods* 19, 209-221.
- Howe, P.E., 1929, Color in the quality and palatability of meat project. *Journal of Animal Science*, 111-112.
- Hulsegge, B., Engel, B., Buist, W., Merkus, G.S.M., Klont, R.E., 2001, Instrumental colour classification of veal carcasses. *Meat Science* 57, 191-195.
- Japan Meat Grading Association 2000. *Beef Carcass Grading Standard* (Tokyo, Japan).
- King, D.A., Shackelford, S.D., Kuehn, L.A., Kemp, C.M., Rodriguez, A.B., Thallman, R.M., Wheeler, T.L., 2010a, Contribution of genetic influences to

- animal to animal variation in myoglobin content and beef lean color stability. *Journal of Animal Science* 88, 1160-1167.
- King, D.A., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., 2010b, Relative contributions of animal and muscle effects to variation in beef lean color stability. *Journal of Animal Science* 89, 1434-1451.
- Konica Minolta Sensing, I. 2007. *Precise Color Communication* (Japan).
- Krzywicki, K., 1979, Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science* 3, 1-10.
- Krzywicki, K., 1981, The determination of haem pigments in meat. *Meat Science* 7, 29-36.
- Lagoda, H.L., Wilson, L.L., Henning, W.R., Flowers, S.L., Mills, E.W., 2002, Subjective and objective evaluation of veal lean color. *Journal of Animal Science* 80, 1911-1916.
- Leupp, J.L., Lardy, G.P., Bauer, M.L., Karges, K.K., Gibson, M.L., Caton, J.S., Maddock, R.J., 2009, Effects of distillers dried grains with solubles on growing and finishing steer intake, performance, carcass characteristics, and steak color and sensory attributes. *Journal of Animal Science* 87, 4118-4124.
- Li, C., 2011, Effect of low-voltage electrical stimulation after dressing on color stability and water holding capacity of bovine longissimus muscle. *Meat Science* 88, 559-565.
- Li, C., Li, J., Li, X., Hviid, M., Lundström, K., 2011, Effect of low-voltage electrical stimulation after dressing on color stability and water holding capacity of bovine longissimus muscle. *Meat Science* 88, 559-565.
- Mackintosh, D.L., 1936, Some factors related to color of meat. *Journal of Animal Science* 1936a, 281-286.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C., 2005, Current research in meat color. *Meat Science* 71, 100-121.
- McMillin, K.W., 2008, Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science* 80, 43-65.
- Meat and Livestock Australia 2013. *MSA training*.
- Mendez, R.D., Meza, C.O., Berruecos, J.M., Garces, P., Delgado, E.J., Rubio, M.S., 2009, A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *Journal of Animal Science* 87, 3782-3790.
- Metas y metrólogos asociados 2007. *Espectrofotometría*. (Jalisco, México).
- Metas y metrólogos asociados 2009. *Medición del color* (Jalisco, México).
- Millar, S.J., Moss, B.W., Stevenson, M.H., 2000, The effect of ionising radiation on the colour of beef, pork and lamb. *Meat Science* 55, 349-360.
- Miranda-de la Lama, G.C., Leyva, I.G., Barreras, S.A., Pérez, L.C., Sánchez, L.E., María, G.A., Figueroa, S.F., 2012, Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the Northwest of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*.
- Mohan, A., Hunt, M.C., Barstow, T.J., Houser, T.A., Bopp, C., Hueber, D.M., 2010, Effects of fibre orientation, myoglobin redox form, and postmortem storage

- on NIR tissue oximeter measurements of beef longissimus muscle. *Meat Science* 84, 79-85.
- Moon, S.H., Yang, H.S., Park, G.B., Joo, S.T., 2006, The relationship of physiological maturity and marbling judged according to Korean grading system to meat quality traits of Hanwoo beef females. *Meat Science* 74, 516-521.
- Ordway, G.A., Daniel, J.G., 2004, Myoglobin: an essential hemoprotein in striated muscle. *Journal of Experimental Biology* 207, 3441-3446.
- Patten, L.E., Hodgen, J.M., Stelzleni, A.M., Calkins, C.R., Johnson, D.D., Gwartney, B.L., 2008, Chemical properties of cow and beef muscles: Benchmarking the differences and similarities. *Journal of Animal Science* 86, 1904-1916.
- Peréz, L.C., Figueroa-Saavedra, F., Barreras-Serrano, A., 2008, Management factors associated to DFD meat in bovine on desertic climate. *Archivos de Zootecnia* 57, 545-547.
- Pérez, L.C., Figueroa, S.F., Barreras, S.A., 2006, Relationship between management factors and the occurrence of DFD meat in cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 5, 578-581.
- Polkinghorne, R.J., Nishimura, T., Neath, K.E., Watson, R., 2011, Japanese consumer categorisation of beef into quality grades, based on Meat Standards Australia methodology. *Animal Science Journal* 82, 325-333.
- Polkinghorne, R.J., Thompson, J.M., 2010, Meat standards and grading. A world view. *Meat Science* 86, 227-235.
- Powell, V.H., 1991, Quality of beef loin steaks as influenced by animal age, electrical stimulation and ageing. *Meat Science* 30, 195-205.
- Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., 2001, Effects of grass feeding systems of ruminants meat colour and flavour. A review. *Animal Research* 50, 185-200.
- Raines, C.R., Dikeman, M.E., Unruh, J.A., Hunt, M.C., Knock, R.C., 2008, Predicting cattle age from eye lens weight and nitrogen content, dentition, and United States Department of Agriculture maturity score. *Journal of Animal Science* 86, 3557-3567.
- SAGARPA, SE, AMEG, CNG 2007. Plan rector para elevar la competitividad de la ganadería, engorda y procesamiento de la carne mexicana de bovino.
- Smith, G.C., Tatum, J.D., Belk, K.E., 2008, International perspective: characterisation of United States Department of Agriculture and Meat standards Australia systems for assessing beef quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 1465-1480.
- Suman, S.P., Joseph, P., 2013, Myoglobin Chemistry and Meat Color. *Annual Review of Food Science and Technology* 4, 79-99.
- Tabasco, U.G.R.d. 2013.
- Tang, J., 2004, Krzywicki Revisited: Equations for Spectrophotometric Determination of Myoglobin Redox Forms in Aqueous Meat Extracts. *Journal of Food Science* 69, C718-C720.
- Tapp, W.N., Yancey, J.W.S., Apple, J.K., 2011, How is the instrumental color of meat measured? *Meat Science* 89, 1-5.

- Tatum, J.D. 2007. Beef Grading. In National Cattlemen's Beef Association (Colorado).
- The Beef Information Centre 2008. The Canadian Beef Grading System, Association., C.C.s., ed.
- Torrescano, U.G., Sánchez, E.A., Vásquez, P.M., Paz, P.R., Pardo, G.D., 2010, Characterization of bovine carcasses and meat from animals fattened in Central Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1, 157-168.
- Troy, D.J., Kerry, J.P., 2010, Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science* 86, 214-226.
- Walczycka, M., Nowak, M., Kolczak, T., 2005, The effect of salt on myoglobin forms of cattle and pig muscles. *Biotechnology in Animal Husbandry* 21, 213-217.
- Warner, R.D., Greenwood, P.L., Pethick, D.W., Ferguson, D.M., 2010, Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Science* 86, 171-183.
- Watss, B.M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E., Elías, L.G., 1992, Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. International Development Research Centre, Ontario, Canadá.
- Weglarz, A., 2010, Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech Journal of Animal Science* 55, 548-556.
- Wheeler, T.L., Cundiff, L.V., Koch, R.M., 1994, Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science* 72, 3145-3151.
- Wheeler, T.L., Cundiff, L.V., Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., 2010, Characterization of biological types of cattle (Cycle VIII): Carcass, yield, and longissimus palatability traits. *Journal of Animal Science* 88, 3070-3083.
- Wulf, D.M., Emmett, R.S., Leheska, J.M., Moeller, S.J., 2002, Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science* 80, 1895-1903.
- Wulf, D.M., O'Connor, S.F., Tatum, J.D., Smith, G.C., 1997, Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *Journal of Animal Science* 75, 684-692.
- Wulf, D.M., Wise, W., 1999, Measuring muscle color on beef carcasses using the L*a*b* color space. *Journal of Animal Science* 77, 2418-2427.
- Yancey, J.W.S., Kropf, D.H., 2008, Instrumental reflectance values of fresh pork are dependant on aperture size. *Meat Science* 79, 734-739.
- Yin, S., Faustman, C., Tatiyaborworntham, N., Ramanathan, R., Maheswarappa, N.B., Mancini, R.A., Joseph, P., Suman, S.P., Sun, Q., 2011, Species-Specific Myoglobin Oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59, 12198-12203.
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Lee, E.J., Ahn, D.U., 2010, Improving functional value of meat products. *Meat Science* 86, 15-31.
- Zhou, G.H., Xu, X.L., Liu, Y., 2010, Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Science* 86, 119-128.

Zorrilla, R.J.M., Lancaster, P.A., Goad, C.L., Horn, G.W., Hilton, G.G., Galindo, J.G., 2013, Quality evaluation of beef carcasses produced under tropical conditions of Mexico. *Journal of Animal Science* 91, 477-482.