

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**Instituto de Ciencias Agrícolas
Instituto en Investigaciones en Ciencias Veterinarias**



**MODELACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINO,
USANDO FACTORES DE MANEJO *PRE- Y POST- MORTEM*,
INTRÍNSECOS Y CLIMÁTICOS**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

JORGE LOREDO OSTI

DIRECTOR

DR. EDUARDO SÁNCHEZ LÓPEZ

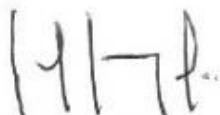
MEXICALI, B.C., MÉXICO

ABRIL DE 2019

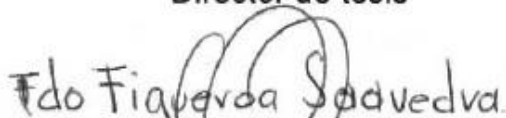
La presente tesis “**Modelación de la calidad de la carne de bovino, usando factores de manejo *pre- y post- mortem*, intrínsecos y climáticos**” realizada por el **C. Jorge Loredo Osti**, dirigido por el **Dr. Eduardo Sánchez López**, ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

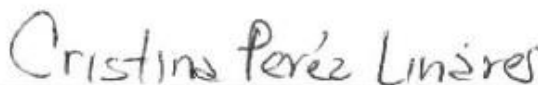
Comité particular:



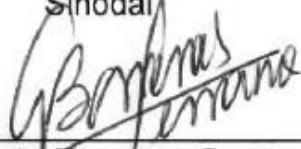
Dr. Eduardo Sánchez López
Director de tesis



PhD. Fernando Figueroa Saavedra
Secretario



PhD. Cristina Pérez Linares
Sinodal



Dr. Alberto Barreras Serrano
Sinodal



Dr. Miguel Ruiz Albarrán
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ayudarme siempre a concluir objetivos trazados y darme siempre opciones para decidir cuál es el camino correcto.

Al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California, por haberme brindado la oportunidad de formarme dentro de sus aulas y laboratorios.

A mis maestros y además miembros de mi comité tutorial: Dr. Eduardo Sánchez López, PhD. Fernando Figueroa Saavedra, PhD. Cristina Pérez Linares y Dr. Alberto Barreras Serrano, por sus enseñanzas, asesoría y paciencia, las cuales ayudaron de manera inigualable a mi crecimiento profesional. ¡Un eterno agradecimiento a todos Ustedes!

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por haberme otorgado todas las facilidades para poder cursar este posgrado. A mi compañero: Dr. Miguel Ruiz Albarrán, por sus aportaciones en la redacción de esta tesis. A los alumnos de licenciatura de esta Facultad: Irving Azua, Rodrigo Bizcaya y Dookan Salazar, por su apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

A los encargados y personal del rastro Tipo Inspección Federal N° 445 de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por todo el apoyo brindado en la realización de esta investigación dentro sus espacios. ¡Muchas gracias!

A la Dirección de Superación Académica, quien a través del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (Prodep), me otorgó una beca económica que se convirtió en una valiosa ayuda durante la realización de este posgrado.

Y especialmente a TI que te ha interesado esta investigación, ya que al consultarla haces posible que se cumpla el objetivo principal por la cual fue realizada. Espero te sirva de la misma manera en que a mí me sirvieron muchos estudios que revisé al elaborar este trabajo.

DEDICATORIAS

A mi esposa Verónica Carvajal de la Fuente y a mis hijas Emily e Isabela Loredó Carvajal, por su amor, apoyo y paciencia, y porque siempre han sido el amor y motor de mi vida.

A mis padres Gregorio Loredó (†) y Catarina Osti, por su cariño incondicional y por ser el soporte en los momentos más difíciles. Siempre han sido y serán un ejemplo a seguir.

A mis hermanos y hermanas y a sus respectivas familias, por ayudarme cada día a ser una mejor persona y un mejor profesionalista.

CONTENIDO

	Pág
Resumen	iii
Abstract	v
CAPÍTULO I	
Introducción	2
CAPÍTULO II	
Revisión de la literatura	5
La carne en México	5
Producción	5
Consumo	6
Calidad de la carne	7
pH de la carne	8
Color de la carne	9
Clasificación de la carne	12
Carne RFN	12
Carne PSE	13
Carne DFD	13
Factores que afectan la presencia de carne DFD	14
Factores intrínsecos	15
Origen racial	15
Sexo	15
Edad	16
Espesor de grasa subcutánea	17
Peso vivo y de canal caliente	17
Factores climáticos	18
Factores de manejo <i>ante-mortem</i>	19
Alimentación	19
Forma de adquisición	20
Prácticas de transporte	22
Estancia en corrales de espera	23
Estancia en manga de sacrificio	24
Factores de manejo durante el sacrificio	24
Aturdimiento – desangrado	24
Factores del metabolismo <i>post-mortem</i>	26
Caída de pH, pH final y temperatura de la canal	26
Situación mundial e impacto económico	27
Literatura citada	30

CAPÍTULO III

Artículo I: Evaluación de los componentes del manejo antes, durante y después del sacrificio y su asociación sobre la presencia de carne DFD de bovino en el noreste de México	43
Artículo II: An evaluation of environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a Federal Inspected Type slaughter plant	62

CAPÍTULO IV

Conclusiones generales	72
------------------------------	----

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar mediante un modelo de regresión logística múltiple, los factores que afectan el riesgo a carne DFD en canales de bovinos. El estudio se realizó de noviembre de 2016 a agosto de 2017 en el noreste de México sobre una muestra de 394 animales. Se analizaron un total de 27 variables independientes. El análisis incluyó los factores de manejo *ante-mortem*, manejo *post-mortem*, ambientales y propios del animal, los cuales fueron evaluados en 6 etapas del proceso de sacrificio: desembarque, estancia en corrales de espera, estancia en manga de sacrificio, aturdimiento-desangrado, faenado (canal caliente) y canales en cuarto frío. La condición DFD se estableció utilizando los valores de pH final de las canales 24 horas post sacrificio junto con los valores colorimétricos de Luminosidad y Chroma (L^* y C^*) valorados instrumentalmente en el músculo *Longissimus dorsi* entre la 11ª y 12ª costilla. La carne fue clasificada como DFD o corte oscuro en base a los siguientes criterios: $pHu \geq 5.8$, $L^* < 40$ y $C^* < 30$, y como Normal para las canales que presentaron $pHu < 5.8$, independientemente de los valores colorimétricos. Esta clasificación se utilizó como variable de respuesta de naturaleza binomial. Se estimó la asociación entre variables mediante los Odds Ratio (OR) y la función de probabilidad del modelo. Como primer paso para la inclusión de variables en el modelo logístico se realizó un contraste entre clases (carne DFD vs Normal) utilizando la prueba *t Student* para variables explicativas cuantitativas y las pruebas Chi cuadrada o exacta de Fisher para variables categóricas. De las 27 variables evaluadas 10 resultaron con significancia estadística a estos contrastes ($p < 0.05$), de las cuales, 4 de ellas mostraron valor predictivo dentro del modelo matemático final ($p < 0.01$). La frecuencia de carne DFD fue del 13.45%. El tiempo transcurrido en el corral previo al sacrificio fue directamente proporcional al porcentaje de riesgo a corte oscuro (OR= 1.67). La insensibilización incorrecta también aumentó la frecuencia de canales con esta anomalía (OR= 3.49). El espesor de grasa subcutánea y el diferencial de pH de las canales establecido con 24 horas de diferencia fueron inversamente proporcionales al riesgo en corte oscuro (OR= 0.15 y 0.01, respectivamente). Las cuatro variables incluidas en el modelo final estuvieron presentes en diferentes etapas y son consecuencia del manejo *ante-mortem*, *post-mortem* así como

intrínsecas del animal. Se necesita una evaluación multifactorial en todo el proceso de sacrificio para prevenir de manera efectiva este problema. En general, este estudio presenta datos concretos sobre qué factores realmente favorecen la incidencia de carne DFD, con un interés directo para la planta de sacrificio en sí, pero también para fines científicos.

Palabras clave: Carne DFD, corte oscuro, proceso de sacrificio, modelo logístico.

ABSTRACT

The objective of the current research was to evaluate, by means of a logistic regression analysis, the association between environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors with the presence of dark-cutting meat in bovine carcasses. The study was performed between November 2016 and August 2017 in a slaughter plant located in northeastern Mexico with a sample size of 394 animals. A total of 27 explanatory variables were evaluated. The analysis included environmental, animal-specific, and management factors both at pre- and post-slaughter periods. All these variables were assessed during 6 stages of the slaughter process: Arrival of cattle, waiting pens, corridors to the stunning box, stunning-exsanguination process, processing of the bovine carcass (hot carcass) and carcass in the cold room. To determine the presence of DFD condition, the carcasses were evaluated by final pH measurements at 24 hours after the slaughter of the bovine. In addition, colorimetric parameters of Luminosity and Chroma (L^* and C^*) were made in triplicate on the cross section of the *longissimus dorsi* muscle exposed by ribbing between the 11th and 12th ribs of the left half of the carcass. The carcasses were classified as DFD or dark cut based on the following criteria: $pH_u \geq 5.8$, $L^* < 40$ y $C^* < 30$, and were classified as Normal for the carcass that presented $pH_u < 5.8$, independently of the colorimetric values. This classification was analyzed as a binomial response dependent variable with values of 1 (DFD) and 0 (Normal). The association between variables was estimated by Odds Ratio (OR) and the probability function of the model. In order to explore the data, individual logistic regressions were performed for each predictor variable and the dependent variable. As the first step for the inclusion of variables in the logistic model, a contrast was made between classes (DFD meat vs normal) using the t-student test for quantitative explanatory variables and the Chi-squared test for categorical variables. Of the 27 variables evaluated, 11 resulted with statistical significance to these contrasts ($p < 0.05$), of which 4 of them showed predictive value of the final mathematical model. It was estimated that the incidence of DFD meat in the population considered in this study was 13.45%. The results of this study reveal that the time spent in the pens prior to slaughter was directly proportional to the percentage of risk to dark cut (OR= 1.67). Improper desensitization increased the frequency of the presence

of DFD meat (OR= 3.49). Subcutaneous fat thickness and the 24-h pH differential of the carcasses were inversely proportional to the risk for dark-cutting beef (OR=0.15 and 0.01, respectively). The four variables included in the final model were present in the different stages and are a consequence of management factors of both *pre-* and *post-mortem*, as well as intrinsic animal characteristics. A multifactorial evaluation is needed throughout the slaughter process to effectively prevent this problem. In general, this study presents concrete data on what factors really favor the incidence of DFD meat, with a direct interest for the slaughter plant itself, but also for scientific purpose.

Key words: *DFD meat, dark cut, slaughter process, logistic model*

CAPÍTULO

I

INTRODUCCIÓN

El Corte Oscuro en carne de bovino se describe como carne oscura, firme y seca en la superficie. Esta condición puede ser causada por muchos factores como la nutrición, la edad del animal, las prácticas del transporte de la granja al rastro, el clima, los tiempos de espera y manejo antes del sacrificio, el tipo de aturdimiento, los sistemas de procesamiento post sacrificio, el sexo y el temperamento del animal (Apple et al., 2002). La carne de corte oscuro a menudo se define en términos de pH muscular y, por lo tanto, es un reflejo de los niveles de glucógeno *ante mortem* y, como tal, la carne con un pH alto suele denominarse oscura, firme y seca o DFD (*Dark, Firm, Dry*, por sus siglas en inglés) (Warner et al., 2014; Apaoblaza et al., 2015). Dicha carne tiene varias características únicas, como la alta capacidad de retención de agua, la textura firme y superficie seca, debido a que el agua se mantiene firmemente dentro del músculo (Ferguson and Warner, 2008; England et al., 2013).

Los factores que conducen a una disminución en los niveles de glucógeno muscular antes del sacrificio conducirán a un pH más alto en el músculo *post mortem*, por lo cual, los procesos bioquímicos en esta fase no se llevarán a cabo de manera adecuada. (Chambers and Grandin, 2001; Sawyer et al., 2009). Debido a esto, se generan problemas para su comercialización, ya que el consumidor asocia una carne oscura como de mala calidad o no reciente, además, debido a su alta capacidad de retención de agua, esta carne no es apta para su procesamiento afectando su calidad tecnológica y favorece el desarrollo de algunos microorganismos proliferativos en la carne, afectándose así, la vida de anaquel (Adzitey and Nurul, 2011; Ponce-Alquicira et al., 2013)

La presencia del corte oscuro ha ido en aumento en la última década a nivel mundial, esto, a pesar de que se ha intensificado el estudio sobre las causas que la provocan (Bourguet et al., 2011; Mahmood et al., 2016a). La literatura que aborda este tema es diversa, y si algo ha demostrado es que no existe una causa principal o única que provoque la presencia de esta anomalía. Más bien, hay una variedad de factores o

una combinación de ellos que pueden dar lugar a la producción de la carne DFD. Cómo es que estos factores contribuyen a su presencia, ya sea por separado o en combinación entre ellos, todavía no está bien definido (Park et al., 2007). La implementación de estrategias para evitar el corte oscuro implica necesariamente un enfoque integrado de diferentes miembros a lo largo de la cadena logística. Esto aislará la magnitud de cada factor que contribuye a su frecuencia y permitirá el desarrollo de un modelo para predecir el alcance de este defecto en la industria de la carne (Mach et al., 2008). Este enfoque también brindaría oportunidades para desarrollar pautas que maximicen su prevención oportuna y que reduzcan las pérdidas económicas de las que son objeto los productores y personal involucrado en este sector (Gallo, 2010).

El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar mediante un modelo de regresión logística múltiple, los factores intrínsecos del animal, climáticos y de manejo antes, durante y después del sacrificio que afectan el riesgo a carne tipo “corte oscuro” en un rastro Tipo Inspección Federal.

CAPÍTULO

II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La carne en México

Producción: Durante la década reciente la producción nacional de carne de bovino ha presentado un continuo crecimiento, con excepción de 2013. Así, entre 2007 y 2016, creció a una tasa media anual de 1.6 %, para ubicarse en 1.88 millones de toneladas de carne en canal (FIRA, 2017)

En 2016, el 62.5 % de la producción nacional de carne de bovino se concentró en diez entidades: Veracruz (13.4 %), Jalisco (11.5 %), Chiapas (6.1 %), San Luis Potosí (5.5 %), Sinaloa (4.9 %), Baja California (4.8 %), Durango (4.5 %), Michoacán (4.1 %), Chihuahua (4.0 %) y Sonora (3.7 %). Para ese mismo año, Tamaulipas se ubicó en el lugar 15, produciendo 45,749 toneladas (FIRA, 2017).

Algunas entidades federativas tales como: Baja California, Nuevo León, Sonora y Sinaloa, por necesidades de su mercado local y de exportación, han decidido incorporarse a los criterios optativos del sistema básico en clasificación de las canales bovinas que marca la NMX-FF-078-2002. Clasificación basada en los grados de marmoleo, textura y firmeza de la carne.

México se ubica dentro de los 10 principales países exportadores de carne, con una participación del 2.7 % del total mundial. Durante el periodo 2007 a 2016 las exportaciones mexicanas de carne de bovino crecieron a una tasa promedio anual de 27.1 %. Así, el volumen de ventas al exterior pasó de 28 mil toneladas de carne en 2007 a 183 mil toneladas en 2016. Mientras que en 2007 se exportó el 1.7 % de la producción nacional, en 2016 dicha proporción fue del 9.7 % (CMC, 2017).

Por otro lado, las importaciones mexicanas de carne de bovino han disminuido considerablemente, a una tasa promedio anual de 7.7 % entre 2007 y 2016, al pasar de 285 mil toneladas a 131 mil toneladas. El 83.2 % del volumen importado en 2016 provino

de Estados Unidos, el 10.8 % de Canadá, y el 6.0 % restante de Nicaragua, Nueva Zelanda, Uruguay y Australia (FIRA, 2017)

Consumo: El consumo *per cápita* de carne de bovino en México fue de 15.4 kilogramos en el año 2017, y representa la tercera fuente de proteína que aporta la carne en general (CMC, 2017)

Según Delgado et al. (2005), la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano es de muy diversa calidad y se subdivide en cuatro categorías:

Carne mexicana de la zona norte, con bajo contenido de grasa, suave y con buena aceptación por los consumidores. Carne mexicana de las zonas centro y sur, con bajo contenido de grasa y buena aceptación por parte de los consumidores, pero más dura. Carne importada USDA-Choice, con calidad y nivel de aceptación entre los consumidores semejantes a los de la carne mexicana de la zona norte, pero con altos niveles de grasa, sin embargo, cada kilogramo de esta carne cuesta en promedio 80% más que la carne nacional. Por último, carne importada sin sello, de composición química e indicadores de calidad comparables a los de la carne mexicana de las zonas centro y sur, pero con menor aceptación entre los consumidores mexicanos, la carne producida nacionalmente con estos estándares de calidad es 25% más barata que la importada.

La mayor demanda del mercado mexicano, resulta en los cortes no especializados en comparación los cortes finos. Los primeros, ordenados de mayor a menor proporción de las familias que los consumen, se componen de bistec o filete, molida, chuleta del siete, pulpa bola, entre otros (Tellez-Delgado et al., 2012; Vilaboa-Arroniz et al., 2009). Por otro lado, en la demanda de cortes especializados el Sirloin, T-bone y ribye ocupan los primeros lugares. En la región norte del país, la demanda de cortes especializados es mayor en comparación con las regiones centro y sur (Núñez-López et al., 2012).

De las razones vinculadas al consumo de carne de bovino en México, predominan la tradición familiar y la facilidad de preparación. Mahecha et al. (2002) y De Juan (2004)

reportan que la demanda de carne bovina es influenciada por las condiciones económicas del país y se encuentra determinada por los ingresos disponibles en las familias.

Calidad de la carne

La carne es un bien valioso para los seres humanos porque proporciona nutrición, energía, satisfacción, sabor y bienestar cuando se come con moderación (Field and VanOverbeke, 2007). Sin embargo, para que la carne de res y otras especies sean atractivas para los consumidores, es importante garantizar que todos los sectores, incluidos los sectores de producción, transporte y procesamiento, estén bien administrados con los procedimientos estándar adecuados desde la granja hasta la mesa (Schnettler et al., 2007; Velarde and Dalmau, 2012). Cualquier defecto en la cadena de suministro no solo puede causar insatisfacción a los consumidores, sino que también puede ocasionar pérdidas en los ingresos debido a la degradación de las canales o de la carne en los sectores donde se produce y comercializa (Becker, 2000). Los consumidores de carne demandan productos cárnicos seguros y de alta calidad. El nivel de calidad y seguridad debe ser atractivo para una amplia gama de consumidores, ya que los principales factores utilizados para la evaluación de la calidad variarán entre los consumidores (Umberger, 2010)

Según Sánchez et al. (2016), la calidad de la carne es la medida de los rasgos que el consumidor percibe y evalúa. Las características que determinan la calidad de la carne de bovino, tanto las propiedades sensoriales o fisicoquímicas como aquellas intrínsecas del músculo, están influenciadas por los siguientes factores: Sistema de producción, sexo, raza, edad del animal a la matanza, alimentación, y asociados al procesamiento como el transporte al rastro, sacrificio, manejo del frío y tiempo de maduración de la carne entre otros (Rubio-Lozano et al., 2013a). De las características sensoriales más utilizadas para evaluar la calidad de la carne son la terneza, jugosidad y marmoleo, generalmente utilizando panelistas expertos (Delgado et al., 2005). Por otro lado, las características fisicoquímicas de mayor importancia en relación a la calidad de la carne son el pH, color y la capacidad de retención de agua (CRA), las cuales son evaluadas mediante aparatos

específicos. Cabe aclarar que los atributos organolépticos o sensoriales dependen en gran medida de las características físicoquímicas de la carne, sobre todo en relación al pH (Becker, 2000; Ferguson and Warner, 2008).

En México, el consumidor utiliza en la compra de carne de bovino varios criterios para valorar su calidad, de los cuales sobresalen: consistencia-aspecto, olor, marmoleo, empaque, entre otros, pero la mayoría de los autores coinciden en que el color de la carne es la principal característica organoléptica que influye en la adquisición del producto. (Vilaboa-Arroniz et al., 2009; Núñez-López et al., 2012; Rubio-Lozano et al., 2013a). El color de la carne es utilizado por el consumidor mexicano como una indicación de frescura y salubridad (Braña-Varela et al., 2011). Por este motivo, es de suma importancia para la industria cárnica que la apariencia (propiedades ópticas, forma física y modo de presentación) de la carne ofrecida al consumidor consiga un alto grado de aceptabilidad (Yang et al., 2002).

pH de la carne

El pH es un valor que determina si una sustancia es ácida o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presentes en una disolución. Su escala de medición va de 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra, valores menores indican que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que es alcalina (Zimerman, 2008). El pH es uno de los principales parámetros a considerar para verificar la calidad de la carne bovina, debido a que afecta varias de sus cualidades: color, terneza, CRA y jugosidad, entre otras (Ferguson and Warner, 2008).

El sacrificio desencadena múltiples cambios bioquímicos que llevan a la transformación del tejido muscular a carne. Una vez sacrificado el animal, el glucógeno muscular se convierte en ácido láctico y el músculo y la canal se vuelven rígidos (*rigor mortis*). El principal proceso que se lleva a cabo durante el establecimiento del *rigor mortis* es la acidificación muscular (Chambers and Grandin, 2001). A medida que disminuye la concentración de oxígeno muscular se establece un metabolismo anaerobio y comienza

la acumulación de ácido láctico, que provoca una reducción del pH, desde valores próximos a 7 en el animal vivo, hasta alcanzar un pH entre 5.4-5.7 a las 24 horas *post-mortem*, llamado pH último; pH_u (Price y Schweigert, 1994). La concentración de glucógeno en el músculo es muy variable y depende de numerosos factores como el tipo de fibras predominantes en el músculo, raza, sexo, peso, edad, comportamiento y el estatus nutricional del animal (Immonen et al., 2000a), pero normalmente los factores más relevantes tienen que ver con el ambiente en que se manejó el animal (estrés) durante las 24 horas *ante-mortem* y durante el sacrificio (Hargreaves et al., 2004).

En un animal sano y descansado, el nivel de glucógeno de sus músculos es alto. Pero si el animal está estresado antes y durante el sacrificio, se consume todo el glucógeno y se reduce el nivel de ácido láctico que se desarrolla en la carne luego de su sacrificio (Chambers and Grandin, 2001), por lo cual, se desencadenan alteraciones en el metabolismo *post-mortem* del músculo, lo que se traduce en defectos fisicoquímicos en la carne, particularmente, por la disminución inadecuada del pH (Karakaya et al., 2005). La mayoría de las bacterias crecen favorablemente a un pH aproximado a 7, e inhiben su crecimiento a un pH por debajo de 5 o superior a 9 (Lawrie and Ledward, 2006). Cuando el pH final es elevado, la mayoría de las plantas de sacrificio consideran al producto de exportación como inconveniente o inaceptable (Gallo, 2016b).

Para la medición del pH en la canal de bovino, se utiliza un potenciómetro digital portátil con electrodo de penetración previamente calibrado, el electrodo deberá penetrar al menos 2 cm en la masa muscular. La medición se hace normalmente en el músculo *Longissimus dorsi*, entre la 12^a y 13^a costilla torácica, a las 24 horas *post-mortem* en tomas consecutivas en el ojo de la costilla. (Rubio-Lozano et al., 2013b).

Color de la carne

El color y la apariencia de la carne se encuentran dentro de los principales atributos de calidad que influyen en la decisión de compra del consumidor. De hecho para los consumidores mexicanos, es el principal referente al momento de seleccionar un corte

de carne (López-Hernández et al., 2013). Cualquier producto puede ser rechazado por su color sin valorarse otras propiedades como su textura, aroma o sabor (Tejada et al., 2008), lo que provoca problemas de comercialización debido a que los consumidores asocian el color oscuro con carne no reciente o almacenada inadecuadamente, por lo tanto el consumidor relaciona este atributo con el grado de frescura y calidad de la carne (Brewer et al., 2002).

El color que vemos en la carne es el resultado de una fuente de luz que puede variar en color (blanca, roja, luz de día, etc.), que interactúa con pigmentos que tienen la capacidad de absorber fracciones de luz o que no se absorbe, de modo que lo que se refleja es el color que nosotros percibimos mediante la retina (Konica-Minolta, 2007). La cantidad y el tipo de luz que percibimos, están sujetos a juicios que emitimos respecto a ese color y que son la base de la preferencia entre una u otra carne. Estos juicios se basan en ideas preconcebidas y experiencias personales, que resultan en que consideremos una carne como segura, fresca, jugosa o inadecuada para su consumo (Rubio-Lozano et al., 2013a). El color de la carne depende de la especie animal, la línea genética, edad, estado nutricional, manejo en el sacrificio, condiciones de faenado y del tipo de empaque y condiciones del almacén. En la carne fresca de bovino, este color es rojo-cereza siempre que se encuentren en un empaque que permita el contacto con el oxígeno (Hughes et al., 2018).

La Mioglobina (Mb), es el principal pigmento biológico de la carne: su estado (reducido, oxigenado u oxidado) determina, generalmente el color de la misma (Fernández-López et al., 2000). Cuando la carne fresca es recién cortada la proporción de Deoxi-Mioglobina (D-Mb) es alta y esto le confiere a la carne un color rojo purpura, debido a que la mioglobina se encuentra en estado reducido, ya que no hay oxígeno fijado a la molécula de mioglobina. Después de condiciones aerobias, el oxígeno (O_2) se une a la molécula de (D-Mb) para producir Oxi-Mioglobina (O-Mb) y generar un color rojo cereza brillante (Bjelanovic et al., 2013). Después de una exposición prolongada al medio ambiente, la (O-Mb) se oxida a su forma de Meta-Mioglobina (M-Mb) generando un color

café-rojizo o marrón que se relaciona con carne en mal estado (López-Hernández et al., 2013).

Existe una gran variedad de condiciones que afectan al aspecto del color en la carne, entre ellas están la fuente de luz, el fondo donde está el objeto, el ángulo desde donde se observa y la experiencia personal que el observador tenga sobre dicha carne, lo que le confiere la cualidad de “subjetiva” a la medición del color realizada visualmente (X-rite, 2016).

Para evitar la subjetividad en la medición del color, desde hace varias décadas se han creado métodos para cuantificar el color y expresarlo numéricamente con el objetivo de que cualquiera pueda comunicar un color de un modo más preciso. Dichos métodos intentan proporcionar un modo de expresar los colores de manera similar a como expresamos la longitud o el peso. (Konica-Minolta, 2007). Es por eso que la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, por sus siglas en francés) definió lo que se conoce como espacios de color, que no es más que la manera de medir el color numéricamente. Entre los espacios de color más utilizados para comunicar y expresar el color de manera objetiva, se encuentran el XYZ, el Hunter Lab, el CIEL*a*b* o el CIEL*C*h*. Los componentes de color de estos espacios se valorizan mediante aparatos específicos, entre los cuales están los colorímetros y los espectrofotómetros (CIE, 1978).

Se pueden utilizar diferentes sistemas de medición, aunque el más común es el sistema CIEL*a*b* elaborado por la CIE (1978) que se compone de los siguientes parámetros colorimétricos:

L*= Luminosidad o claridad. Sus valores van de 0 (negro) a 100 (blanco).

a*= Coordenada verde/rojo: Sus valores varían de -60 a 60.

b*= Coordenada azul/amarillo: Sus valores se encuentran entre -60 a 60.

C*= Chroma. Significa la intensidad del color (apagado, pálido, claro, grisáceo, vivo, oscuro, profundo). Se puede calcular con la siguiente fórmula:

$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$. Sus valores varían de 0 a ≈ 85

H*= Ángulo o tono. Es el tono del color a partir de los 4 colores primarios: rojo, verde, amarillo y azul. Se calcula como el arco tangente de b^*/a^* . Sus valores van de 0 a 360°

Valores de L* y C* mayores de 40 y 30 respectivamente, indican un color rojo brillante o rojo cereza en la carne, el cual es deseado por el consumidor, en contraste, valores de estos parámetros colorimétricos inferiores a los señalados representan un color rojo oscuro (Pérez-Linares et al., 2006).

Las mediciones del color en la canal se realizan en la superficie del musculo *Longissimus dorsi* repitiendo en tomas consecutivas. El equipo se debe de colocar suavemente sobre la muestra, no permitiendo que escape luz (Rubio-Lozano et al., 2013b). La carne debe de estar en contacto con el oxígeno, por lo menos 30 minutos, antes de evaluar el color para que pase de púrpura a rojo, a esto se le conoce como “*blooming*”, proceso por el cual el pigmento muscular responsable de llevar el oxígeno a las células, la mioglobina (Mb), se oxigena. Al oxigenarse la mioglobina, cambia de Deoxi-mioglobina (D-Mb) y se convierte en Oxi-mioglobina (O-Mb). Para estandarizar las mediciones, el color se evalúa luego de 30 minutos de haber cortado la carne (Bjelanovic et al., 2013).

Clasificación de la carne

Según los valores del pH y componentes de color medidos 24 horas *post-mortem*, la carne puede clasificarse en RFN (*Red, Firm, Non exudative*, por sus siglas en inglés); PSE (*Pale, Soft, Exudative*, por sus siglas en inglés) y DFD (*Dark, Firm, Dry*, por sus siglas en inglés) (Perez-Linares et al., 2006).

Carne RFN: La carne RFN es el tipo de carne que se produce en los animales que reciben un buen trato en relación al bienestar animal. La carne obtenida después del sacrificio se caracteriza por ser roja, firme y no exudativa, tiene un color rojo brillante y capacidad para retener agua, proporcionando jugosidad una vez cocinada (Adzitey and

Nurul, 2011). Para ser considerada una carne como RFN, después de 24 horas del sacrificio debe tener un pH menor de 5.8, una luminosidad (L) mayor de 40 y un Chroma (C*) mayor de 30 (Perez-Linares et al., 2006).

Carne PSE: La carne PSE es producto de un rápido descenso del pH *post-mortem*, esta condición anormal es ocasionada principalmente por estrés agudo excesivo durante la matanza, por un mal insensibilizado, faenado incorrecto y un mal enfriamiento, así como por predisposiciones genéticas (Ponce-Alquicira et al., 2013).

Esta miopatía ha sido documentada principalmente en cerdos y es poco común en bovinos. Particularmente en el caso de los cerdos, la respuesta del organismo al estrés provoca una glucolisis acelerada en la canal, la cual se presenta principalmente en la etapa *post-mortem* (Smiecinska et al., 2011). La combinación de pH bajo y temperatura alta causan la desnaturalización de algunas proteínas musculares y la reducción en la cantidad de agua de las miofibrillas del musculo (Kim et al., 2008).

Para evaluar si una carne es PSE solo se utilizan los valores de pHu y luminosidad (L*), en el caso del pHu debe tener un valor inferior a 6.2 en la canal medido a 45 minutos post sacrificio y el valor de L* debe ser mayor a 50 (Chávez-Cervantes et al., 2007).

Carne DFD: Se define como carne tipo corte oscuro o DFD a aquellas que, producto de un pH elevado, medido después de 24 horas de frío efectivo *post-mortem*, aparecen a la vista con un color rojo oscuro a café-negro y que presentan además una consistencia externa al músculo seca, dura y algo pegajosa (Apple et al., 2002). Una carne se clasifica como DFD cuando tiene un pH igual o mayor a 5.8, una luminosidad (L*) menor a 40 y un Chroma (C*) menor a 30 (Perez-Linares et al., 2006).

En general puede considerarse que el estrés crónico antes y durante el sacrificio tiene como consecuencia la formación de carne DFD (Lawrie and Ledward, 2006). Entre los factores que causan estrés y propician la incidencia del musculo DFD están principalmente los relacionados con un mal manejo *ante-mortem* y un mal insensibilizado

y desangrado, además de la alimentación y algunas características propias de su comportamiento, el cual variará según su raza, sexo, temperamento, edad y condición corporal (Mota et al., 2016).

La carne con la condición DFD se presenta principalmente en ganado vacuno u ovino, y ocasionalmente en cerdos y pavos, al poco tiempo de su sacrificio (Chambers and Grandin, 2001). Cuando se presenta estrés, el animal tiende a reducir sus reservas musculares de glucógeno, por lo que se presentará un menor contenido de ácido láctico en el músculo ($<57 \mu\text{moles/g}$), ocasionando un pH final elevado a las 24 horas *post-mortem* (>5.8), en comparación con el pH de una carne normal (5.4 a 5.8) (Tarrant, 1989). En músculos donde el pH tiene una disminución lenta, la carne se torna oscura, dura y seca, por lo tanto una caída pausada del pH después del sacrificio, es ocasionada cuando las reservas de glucógeno en el animal son escasas (Apaoblaza et al., 2015).

A causa de este pH elevado, existe un aumento en la CRA, las proteínas se encuentran fuera de su punto isoeléctrico, absorbiendo cantidades mayores de agua lo que resulta en una apariencia seca, en este caso la luz se refleja poco y el color de la carne se torna rojo oscuro, además la firmeza en este tipo de carne se ve incrementada debido a una mayor turgencia de las fibras musculares (Speer et al., 2001). Las características anteriores hacen que la carne tipo corte oscuro sea inapropiada para la elaboración de productos cárnicos, ya que minimizan su aptitud tecnológica (Price y Schweigert, 1994). Por otro lado, su alta CRA la hace más susceptible a la proliferación de microorganismos, comprometiendo así su vida de anaquel (Adzitey and Nurul, 2011). Estos problemas, junto con las dificultades en la comercialización del producto debido a que su color oscuro, hacen que la carne DFD cause una pérdida económica sustancial a la industria cárnica a nivel mundial (Sawyer et al., 2009).

Factores que afectan la presencia de carne DFD

Las causas que dan origen a la presencia del corte oscuro son múltiples y variadas. En general, se podrían clasificar en factores intrínsecos o propios del animal, de manejo

pre- y post- sacrificio y aquellas atribuidas al clima o medio ambiente (Bourguet et al., 2011; Mahmood et al., 2016a).

Factores intrínsecos

Origen racial: En la presencia del corte oscuro hay razas más propensas que otras. El temperamento en el ganado es una característica heredable que puede influir en su reacción hacia algunos procedimientos de manejo (Mota et al., 2016). Existen diferencias en el carácter entre y dentro de las razas bovinas. En las razas índicas, como Brahman y sus cruces Brangus y Bradford, hay un factor genético que afecta a la respuesta animal al estrés (Hernández y Ríos, 2009). En general, según Voisinet (1997), debido a su temperamento más excitable, las razas índicas y sus cruces presentan características genotípicas que las hacen más susceptibles a los factores estresantes presentando una proporción mayor de corte oscuro si se les compara con las razas de origen *Bos taurus*. Estas afirmaciones concuerdan con hallazgos encontrados en 4 plantas de sacrificio de bovinos ubicadas en diferentes ciudades de EE. UU., donde se encontró una mayor prevalencia de carne DFD en aquellas que procesaron ganado *Bos indicus* x *Bos taurus* en comparación con las plantas que solo sacrificaron *Bos taurus* (Kreikemeier et al., 1998).

Sexo: Diversos estudios coinciden que existe una mayor incidencia de carne DFD en toros en comparación con hembras, novillos o novillas (Dunne et al., 2004; Page et al., 2001; Miguel et al., 2014). Los toros a menudo presentan carne tipo corte oscuro debido a su comportamiento agresivo, ya que cuando se mezclan antes del sacrificio se dedican a luchar y montar para restablecer la jerarquía social que, en consecuencia, disminuye el glucógeno muscular a través del agotamiento (Warriss et al., 1984). Además, las hembras poseen, en comparación con los machos, una mayor cobertura de grasa y se ha demostrado que la frecuencia de corte oscuro disminuye a medida que aumenta la grasa de las canales, debido a una correlación negativa con la disminución del pH *post-mortem* (Sañudo et al., 2005), en este sentido, Mach et al. (2008), encontró mayor incidencia de carne DFD en machos que en hembras, y acorde con lo anterior,

observó una interacción significativa entre el sexo y el espesor de grasa subcutánea. En términos de riesgo, se indica que los machos enteros evidencian una mayor proporción de carnes con cortes oscuros, seguidos por los castrados, las vacas, vaquillas y, finalmente, los novillos (Beer, 2003). En relación a los animales castrados, no se han reportado diferencias en la comparación entre la castración quirúrgica y la inmunológica (Miguel et al., 2014).

Edad: El color de la carne es más oscuro a medida que el animal cuenta con más edad (Hopkins et al., 2007). Este efecto se debe a un aumento en el contenido de hierro y pigmento muscular, principalmente mioglobina, y refleja la capacidad oxidativa aumentada de, por ejemplo, el músculo *longissimus* a medida que los animales envejecen (Greenwood et al., 2007). En la carne de este tipo de animales, aumenta la fuerza de corte y el índice de rojo (a^*), además del diámetro y la densidad de las fibras musculares, por otro lado, disminuyen los valores de Luminosidad (L^*) y el contenido de agua (Lin-qiang et al., 2011). Este efecto no está relacionado con el pH, sin embargo, el color evaluado de manera subjetiva o instrumental es uno de los criterios utilizados por varios autores y auditores de rastros (clasificadores) para categorizar una canal como corte oscuro (Hanson et al., 2001; Mahmood et al., 2016a). Para algunos investigadores, el aumento en la frecuencia de canales con corte oscuro en ganado envejecido, se debe a la disminución de la grasa subcutánea en la canal, la cual puede influir en la tasa de enfriamiento en el metabolismo *post-mortem* (Dolezal et al., 1982), para otros, es reflejo de un manejo inadecuado, ya que el ganado de descarte es más propenso a sufrir lesiones (que inducen estrés), debido probablemente a su menor grosor de piel, así como a su bajo valor comercial, que los hace más vulnerables a tener manejos rudos por parte de los operarios (Strappini et al., 2009). Según Hopkins et al. (2007), el aumento en carne DFD con la edad, podría atribuirse también al incremento de la sensibilidad muscular a la adrenalina, de tal manera que aumenta el agotamiento de glucógeno en animales más viejos.

Espesor de grasa subcutánea: Según varias investigaciones, existe evidencia de una relación inversamente proporcional entre el espesor de la grasa subcutánea (EGS) y la presencia de la carne DFD. La cantidad de grasa subcutánea que presenta una canal de bovino depende de algunos factores endógenos como la edad, género, raza y sistema de alimentación (Dunne et al., 2009).

En un estudio realizado en España, se observó que los animales con mayor engrasamiento presentaron valores de pH final más bajos (Mach et al., 2008). Estos resultados tuvieron correlación con el sexo, donde las hembras presentaron mayor grasa dorsal que los machos. Page et al. (2001), estiman que el umbral del EGS por debajo del cual aumenta la probabilidad de corte oscuro es de 0.76 cm. Existe la hipótesis de que el engrasamiento puede estar relacionado con la acción protectora del tejido adiposo con relación al frío, ya que temperaturas más elevadas en el proceso de instauración del *rigor mortis* podrían acelerar el metabolismo muscular y propiciar una mayor caída de pH (Murray, 1989; Sañudo et al., 2005). Sin embargo, otros autores exponen que no existe un efecto del EGS sobre la disminución del corte oscuro relacionada con el metabolismo post sacrificio, su acción protectora la justifican en una mejor nutrición en la granja, ya que animales con mayor EGS provienen de estabulaciones con dietas más ricas en energía, y por lo tanto, con mayores reservas de glucógeno a la llegada al centro de sacrificio, con lo cual, tienen mayor probabilidad que no se consuma dicho glucógeno de manera considerable en las fases *ante-mortem* que provocan estrés (Warner et al., 1998a; McGilchrist et al., 2012).

Peso vivo y de canal caliente: Existe una correlación estrecha entre el peso del animal vivo y el peso de su canal (Mahmood et al., 2016b). Hallazgos en la última década indican que estas dos variables están relacionadas con la incidencia de canales con corte oscuro. En Canadá, en dos estudios diferentes, se encontró que la presencia de esta anomalía disminuía a medida que aumentaba el peso vivo y de la canal, esto sugirió a los autores que la gravedad del corte oscuro se relacionaba con la musculatura y el tamaño del animal (McGilchrist et al., 2012; Holdstock et al., 2014), incluso, otros investigadores acorde con lo anterior, indican que el umbral de peso en canal por debajo

del cual aumenta la probabilidad en la presencia de carne DFD es de 325 kg, sugieren además, que las medidas físicas de un bovino se podrían usar para indicar la posibilidad de que ocurra este defecto (Mahmood et al., 2016b). Sin embargo, los resultados de otros estudios indicaron lo contrario, en el sentido de que, a mayor peso de las canales, el pH valorado a 24 horas *post mortem* es mayor, aumentando la posibilidad en la presencia de corte oscuro (Diaz et al., 2003; Hargreaves et al., 2004). Esta discrepancia en la literatura sugiere que además del peso de la canal, existen otros factores que afectan de manera más relevante la incidencia de carne DFD, de los cuales esta variable es consecuencia directa, tales como la edad, el sexo, la raza, así como el sistema y nivel de alimentación (Mota et al., 2016).

Factores climáticos

De los factores que se sabe que contribuyen al corte oscuro, el ambiente puede ser el más difícil de controlar. Las temperaturas extremas conducen a una disminución del glucógeno muscular y hepático debido al estrés calórico o por frío que sufren los animales (Węglarz, 2010; Roca, 2011). En general, se considera que el ganado es más sensible a las temperaturas calurosas que a las frías, sobre todo cuando hay cambios bruscos de temperatura (Wiklund et al., 2009).

Kadim et al. (2004), en Omán, encontraron diferencias significativas entre el pHu de canales de bovinos cuando se comparó una estación llamada “cálida” (34.3 °C) contra una denominada “fresca” (21.2 °C). El pH final de la época calurosa fue superior en 0.7 unidades en comparación con la época fresca (6.24 vs 5.54). Resultados similares fueron observados en 4 estados de EE. UU., donde la incidencia de corte oscuro en canales de bovinos fue superior en los meses de agosto y septiembre en comparación con otros meses del año (Kreikemeier et al., 1998)

Uno de los efectos en rumiantes expuestos a altas temperaturas es la depresión adoptiva del grado de metabolismo asociado con la reducción del apetito (Roca, 2011). En este sentido, Scanga et al. (1998) observó en novillas una correlación positiva entre

los días con altas temperaturas ($>35^{\circ}\text{C}$) y la presencia de corte oscuro de sus canales, sugiriendo que este hallazgo se debió en parte a que las novillas comieron muy poco durante el clima caluroso y accedieron al glucógeno muscular y hepático para mantener su homeostasis.

Por otro lado, en climas muy fríos combinados con precipitación pluvial, se produce pérdida de calor corporal y presencia de escalofríos (Gregory, 2010). En un trabajo realizado por Sañudo et al. (2005), observaron que animales sacrificados en invierno presentaron mayores valores de pHu (5.81) en relación con los sacrificados en verano y otoño (5.76). Los autores explican estos resultados argumentando que los mayores requerimientos energéticos en el invierno podrían justificar el mayor consumo de glucógeno y esos valores de pH más elevados.

Para evitar la presencia de carne DFD atribuida a factores climáticos, es recomendable sacrificar a los bovinos en horas del día que se encuentren dentro de la llamada “zona de confort del ganado”, es decir, el rango de temperatura (T) y humedad relativa (HR), dentro del cual, el animal puede estar sin que sea necesario activar sus mecanismos de autorregulación térmica (Berman et al., 2016). La zona de confort se determina mediante ecuaciones que relacionan la T y la HR, denominadas índice THR y su valores limítrofes (inferior y superior) dependen de varios factores, entre los que se encuentran el origen racial (*B. taurus* o *B. indicus*), el ambiente de origen (templado o tropical), el fin zootécnico (ganado de carne o leche), la especie (bovinos, ovinos, etc.), entre otros (Roca, 2011).

Factores de manejo *ante-mortem*

Alimentación: De acuerdo a varios estudios los animales criados en pradera pueden llegar al momento del sacrificio con bajo potencial glucolítico en sus músculos comparados con aquellos criados en un sistema intensivo (McVeigh and Tarrant, 1982; Gardner et al., 2014). Esto se atribuye a la menor calidad energética que tienen los pastos comparados con la dieta que recibe un animal de *feedlot*. En estos últimos, el mayor nivel energético de la ración se puede traducir en mayores reservas de glucógeno muscular

que pueden evitar la incidencia de cortes oscuros (Jacob et al., 2009). Por tal motivo, se recomienda la alimentación con dietas de alto contenido energético o suplementos energéticos, como cereales y subproductos, durante el período de finalización del ganado bovino para reducir la aparición de carne DFD (McGilchrist et al., 2012), donde además, se incrementaría el grado de engrasamiento de las canales, que se sabe, es inversamente proporcional a la probabilidad de corte oscuro (Page et al., 2001). En sistemas extensivos, la edad animal es uno de los factores contribuyentes que influyen en la incidencia de este defecto en bovinos criados bajo este sistema, porque estos animales se sacrifican a edades mayores debido a la baja densidad de energía de la dieta y, por lo tanto, tardan más en alcanzar el peso del mercado (Vestgaard et al., 2000). Además, los animales estabulados en sistemas intensivos tienen un mayor contacto con los humanos en comparación con los de pastoreo, por lo que al momento de abandonar el predio con destino a la planta de sacrificio, estos últimos pueden presentar mayor estrés (Hargreaves et al., 2004). Bajo estas dos condiciones, los animales criados en pastizales, tienen más probabilidad de presentar cortes oscuros (Immonen et al., 2000a).

Además de proporcionar dietas o suplementos de alta energía, se han probado estrategias dietéticas específicas para reducir la incidencia de cortes oscuros debido al estrés del manejo *ante-mortem*. Algunas de ellas con regular o aceptable éxito. La suplementación con óxido de magnesio promovió una mayor capacidad de reposición de glucógeno, mejorando tanto el glucógeno en el sacrificio como el pH muscular en las ovejas, pero no fue así en bovinos (Gardner et al., 2001). La terapia con electrolitos orales reportó mejoras en el peso tanto en vivo como en canal, así como una reducción en la aparición de cortes oscuros (Schaefer et al., 1997). Otros suplementos basados en micronutrientes como el triptófano y la tirosina, ayudaron a disminuir el estrés y atenuaron la glucogenólisis en el ganado en su estancia pre- sacrificio (Schaefer et al., 2001).

Forma de adquisición: El ganado sacrificado en el rastro puede arribar directamente desde *feedlot* o granja, o puede ser consignado a través de un mercado ganadero. La permanencia de animales dentro de los mercados ganaderos (subastas o ferias) es causa de diversos factores estresantes que les ocasionan un aumento en el

desarrollo de conductas agresivas y tensión fisiológica (Gregory, 2008; IPCVA, 2012), lo que reduce notablemente su bienestar y disminuye la calidad de su carne cuando se envían directamente a la planta de sacrificio después de ser subastados (Warner et al., 1998a)

Roldan et al. (2016), mencionan que la introducción de los animales en los mercados ganaderos implica un estrés adicional, físico y conductual debido a la escasa capacitación que tiene el personal encargado de su manejo. Los factores estresantes más comunes en este tipo de lugares son los tiempos prolongados en la carga, transporte y descarga; mezcla de animales de distinta especie; deshidratación y fatiga por falta de una infraestructura adecuada; aumento de la temperatura corporal; pérdida de peso, así como una mayor posibilidad de sufrir lesiones.

El pH de las canales de bovinos se ve afectado cuando el ganado se envía a través de un mercado ganadero al rastro si se contrasta con quienes llegan directamente del *feedlot* o granja (Ferguson and Warner, 2008). En este sentido, Stevenson et al. (1996) encontraron diferencias significativas en el pH de canales de animales que arribaron directamente del *feedlot* en comparación con aquellos que provenían de un mercado ganadero (5.76 vs 5.98, respectivamente). Resultados similares fueron observados por Ferguson et al. (2007) y Warren et al. (2010), quienes encontraron que el ganado sacrificado proveniente de una subasta produjo una carne de res más oscura, con un pH medio más alto y que era más dura que la carne de bovinos enviados directamente desde la granja.

En contraste, Warner et al., (1998b), informaron que los animales consignado directamente desde la granja al sacrificio tenían proporciones similares de corte oscuro en comparación a quienes fueron enviados a través de un mercado ganadero, en este mismo tenor, McPhail et al. (2014) no encontraron ningún efecto en el método de comercialización del ganado (envío directo desde el *feedlot* o a través de ferias) sobre el pH final de las canales evaluadas.

Prácticas de transporte: En un sentido amplio, el transporte comprende la carga en el vehículo, el transporte propiamente dicho al rastro y la descarga. (Sánchez et al., 2016). El transporte implica una serie de circunstancias de manejo y sucesos estresantes para los animales como encierro, confinamiento, carga, novedad del ambiente, calidad del aire, temperatura y humedad, densidad de carga, disponibilidad de espacio, ubicación en la jaula de traslado, duración y tiempo de transporte, vibraciones del medio de transporte, golpes e impactos, ruido, orientación espacial, espera para la descarga, descarga y encierro en un nuevo ambiente desconocido. Esto conlleva una sobrecarga para el animal con notables mermas en la calidad de la carne, estrés, heridas e incluso la muerte (Mota et al., 2016; Sánchez et al., 2016). Para Tarrant (1990) el aspecto más estresante en las prácticas de transporte para el ganado es el confinamiento en un vehículo en movimiento, sobre otros eventos de la cadena de transporte.

En la literatura se han realizado varios estudios para comparar los efectos de la longitud del transporte en la prevalencia de corte oscuro. En uno de ellos realizado en Inglaterra, se evaluó el recorrido de bovinos de la granja al centro de sacrificio sobre distancias comprendidas entre <200 km y 800 km, los resultados mostraron una disminución en la concentración de glucosa y un aumento en el nivel de cortisol en plasma en el grupo de animales que recorrió más distancia. Estos parámetros son indicadores fisiológicos de estrés animal. Además, la longitud del trayecto recorrido se correlacionó negativamente con algunos parámetros de calidad de la carne, entre los que se incluían el pHu, L*, a*, b* y esfuerzo al corte (Chulayo et al., 2016). Estos resultados son similares a los reportados por Gallo et al. (2003) en Chile, quienes observaron un aumento en la incidencia de corte oscuro en el ganado transportado durante 16 horas en comparación con los transportados durante 3 horas. La correlación negativa establecida entre la calidad de la carne y la distancia recorrida ha sido observada solamente en comparaciones que involucran trayectos largos. Los trabajos de Maria et al. (2003) (0 vs 3 vs 6 h); Ferreira et al. (2006) (2 vs 5 h) y Mach et al. (2008) (<2 a >3 h), no informaron sobre algún grado de correlación entre las distancias evaluadas y la frecuencia de corte oscuro. En general, según Ferguson et al. (2001), el transporte corto (<400 km) no parece

afectar el pHu de la carne, mientras que en distancias largas existe un pequeño aumento en el pHu de 0.1 ó 0.2 unidades.

Estancia en corrales de espera: La normatividad de varios países, incluido México, establece que el ganado debe descansar de 12 a 24 horas previo al sacrificio (según la distancia recorrida), con el fin de reponerse de los efectos adversos derivados del transporte (NOM-033, 2014; MINAGRI, 2009). Sin embargo, algunos autores establecen que, en el caso de los bovinos, son suficientes 3 horas para restablecer sus valores fisiológicos basales anteriores al embarque (Díaz et al., 2014). Argumentan que un tiempo prolongado en los corrales de espera antes del sacrificio no ofrece beneficio alguno en relación al bienestar animal y la calidad de la carne (Gallo et al., 2003; Tadich et al., 2003), dado que a medida que transcurre el tiempo de reposo, también se incrementa el número de elementos estresantes presentes en esta etapa, entre los que destacan la mezcla de animales de distintos hatos, peleas, montas, nueva jerarquía social y un ambiente con ruidos y olores nuevos (Njisane and Muchenje, 2017; Chen et al., 2015), además, la privación de alimento en estos espacios produce una pérdida de reservas energéticas causando la disminución del glucógeno en músculo e hígado, por lo cual, se disminuye la concentración de ácido láctico en el músculo *post-mortem*, provocando en consecuencia un aumento en la frecuencia de canales con corte oscuro (Ferguson and Warner, 2008). Acorde con lo anterior, la World Organisation for Animal Health (OIE) recomienda que se sacrifique el ganado lo más pronto posible después de haber sido descargado (OIE, 2018).

En un estudio realizado en Chile, Gallo et al. (2003) observaron un aumento en el pHu de la canal a medida que los bovinos fueron alojados durante más tiempo en los corrales de espera. Por su parte, Mach et al. (2008), en rastros de España, encontró que el ganado que se sometió a más de 15.8 horas de espera exhibió una mayor frecuencia de canales con pH >5.8. En contraste, Campo et al. (2010) y Teke et al. (2014) recomiendan tiempos de reposo superiores a 3 horas y de hasta 72 horas, cuando el ganado viaja durante 4 y 30 horas respectivamente, bajo los argumentos de que son más los beneficios que se obtienen, en términos de calidad de la carne, cuando los tiempos

de reposo *ante-mortem* son prolongados, en otras palabras, el riesgo a corte oscuro estará presente, según los autores, cuando el ganado sea estabulado por poco tiempo en estos espacios.

Estancia en manga de sacrificio: Existe una mayor incidencia de carne DFD cuando los tiempos de espera en la manga de sacrificio son extensos. En este tiempo se presenta un riesgo potencial de que se produzca mayor estrés en el animal a causa del apercibimiento de ruidos y del olor a sangre de otros animales (Grandin, 2017). En un estudio realizado en el noreste de México, Pérez-Linares et al. (2013) observaron que un tiempo mayor a 30 min en la manga de conducción y en el pasillo que se conecta con el cajón de aturdimiento, predispone la presencia de carne DFD con 17.9 veces más probabilidad que para una carne normal.

Además, en el arreo de los bovinos de los corrales hacia el cajón de aturdimiento a través de la manga de sacrificio, son frecuentemente utilizados algunos dispositivos de ayuda para su movilización como la picana o bastón eléctrico (Miranda-de la Lama et al., 2012). Usualmente la picana eléctrica, *per se*, no afecta la incidencia de canales tipo corte oscuro, sin embargo, puede inducir en el animal un estado de reactividad e intentos desesperados por escapar, lo cual incrementa el riesgo de lastimarse por caída o golpeándose con otros animales o con las paredes, sobre todo cuando se aplica en partes sensibles del bovino, en consecuencia, se incrementa la probabilidad de obtener canales con este defecto (Nanni-Costa et al., 2006). En este sentido, en un estudio realizado en 12 rastros de Uruguay, se encontró una correlación positiva entre el uso excesivo de la picana eléctrica y la presencia de hematomas en canales de bovinos (Huertas et al., 2010).

Factores de manejo durante el sacrificio

Aturdimiento – desangrado: La legislación vigente en México (NOM-033, 2014) y las especificaciones de organismos internacionales como la OIE (OIE, 2018), establecen que antes del sacrificio el ganado bovino debe de ser insensibilizado, de tal

manera que el ganado entre en un estado de inconsciencia irreversible por contusión y así evitar cualquier sufrimiento innecesario durante su desangrado. Un animal insensibilizado presenta concentraciones de glucógeno muscular más altas, así como una tasa de disminución de pH mayor, en comparación con los animales que no se aturden (Önenç et al., 2004)

La eficacia del insensibilizado se evalúa generalmente mediante la observación de los indicadores de comportamiento, que son respuestas coordinadas a estímulos internos o externos (Levitis et al., 2009). La NOM-033-SAG/ZOO-2014 establece que un insensibilizado es incorrecto cuando se presentan los siguientes signos de retorno a la conciencia: Reflejo corneal, parpadeo espontáneo, rotación total de globo ocular, respiración regular, enderezamiento en el riel, vocalizaciones e intentos de levantarse.

Las causas más frecuentes de la baja eficacia en la insensibilización mediante la pistola de perno retráctil son el mantenimiento inadecuado de la pistola, así como la fatiga que el operario experimenta debido a una alta velocidad del flujo animal en el cajón de aturdimiento (Gallo et al., 2003). Referente a esto último, Brown et al. (1990) encontraron que las plantas de sacrificio del Reino Unido con mayor flujo animal (>100 animales/día) presentan mayor incidencia de canales con corte oscuro en comparación con las plantas de menor flujo (<50 animales/día), los autores atribuyen este aumento al trato que en general se da a los animales en el proceso de sacrificio en las plantas de gran tamaño para lograr un mayor rendimiento comercial. Por su parte, Chulayo et al. (2016), encontraron una correlación negativa entre el grado de estrés presente en el insensibilizado y la calidad de la carne. El nivel de estrés fue valorado utilizando indicadores fisiológicos y la calidad de la canal mediante el pHu y L*.

La literatura referente a la evaluación del aturdimiento del ganado bovino es extensa, sin embargo, la mayoría de las investigaciones se centran en el impacto que presenta el insensibilizado correcto o incorrecto sobre el bienestar animal (Terlouw et al., 2016; Gregory et al., 2007; Grandin, 2002).

El intervalo aturdimiento-desangrado se considera crucial porque puede afectar de manera directa el bienestar de los animales, la calidad de la carne y la seguridad de los operarios (Roldan-Santiago et al., 2011). La *Humane Slaughter Association* (HSA., 2013), menciona que el intervalo entre disparo y sangría debe mantenerse al mínimo, con un máximo de 60 segundos para evitar la posibilidad de un retorno a la sensibilidad, dolor y sufrimiento innecesario; además, así se evitan posibles defectos en las canales. Después del desangrado, debe haber tolerancia cero de animales conscientes en el izado para poder iniciar cualquier procedimiento en el faenado del animal como remover patas, cuernos y cabeza (Grandin, 2002). Colgar a los animales por periodos prolongados antes del degüello puede también acelerar la utilización del glucógeno y, por tanto, una anormal conversión a ácido láctico, aumentando la probabilidad en la presencia de carne DFD (Pipek et al., 2003).

Factores del metabolismo *post-mortem*

Caída de pH, pH final y temperatura de la canal: En el metabolismo *post-mortem* se da lugar una serie de procesos bioquímicos que son responsables de la transformación del músculo a carne (England et al., 2013). Las implicaciones de estos procesos que dan lugar a las características fisicoquímicas y organolépticas del producto final, son afectadas de manera explícita por la velocidad en la disminución del pH y la temperatura de la canal, las cuales juegan un papel de suma importancia en esta transformación (Bruce and Ball, 1990). La temperatura modula la velocidad de la glucólisis, y afecta a su vez, a la tasa de descenso del pH y a la velocidad de aparición del *rigor mortis* (Huff-Lonergan et al., 2010). La relación entre la caída del pH y la temperatura de la canal en el metabolismo *post-mortem*, es la responsable de que la carne sea catalogada como RFN, DFD o PSE, dado que determinan el pH final y afectan el color de la carne (Mencarini, 2002).

En los cuartos fríos, bajo condiciones idénticas de enfriamiento, las canales no disminuyen su temperatura a la misma velocidad, provocando una mayor caída de pH en las canales menos frías (Bruce and Ball, 1990). Algunos autores atribuyen lo anterior a

factores que podrían actuar como aislantes térmicos en las canales de bovinos, entre los que se encuentran las capas gruesas del espesor de grasa subcutánea (EGS), un elevado nivel muscular y mayor peso de la canal, así como una alta densidad de canales en el cuarto frío (Murray, 1989; Hargreaves *et al.*, 2004; Savell *et al.*, 2005). Dada la relación de la temperatura de la canal con la caída de pH, se esperaría entonces en el proceso *post-mortem*, una mayor velocidad en la disminución del pH en las canales que presenten condiciones de alta cobertura grasa, mayor musculatura y con poca disponibilidad de espacio. (Klont *et al.*, 1999). Esta misma situación hará que se presente un mayor diferencial de pH en los músculos más externos de las canales en comparación con los músculos internos, que presentarían una tasa de enfriamiento más alta y una mayor caída de pH (Warner *et al.*, 2014).

No obstante, la manera en que afectan al pH final los factores relacionados con el EGS, musculatura, peso y densidad de carga de las canales, todavía no está bien definido (Klont *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2007). La correlación positiva entre el nivel de glucógeno muscular que el animal presenta justo antes de ser sacrificado y el pH_u valorado 24 horas *post-mortem*, ha sido demostrada con mayor certeza en la literatura, posicionando a esta concentración muscular como el factor que mejor explica la disminución del pH y el pH final en el metabolismo *post-mortem* (Brown *et al.*, 1990; Mencarini, 2002; Amtmann *et al.*, 2006). Para Immonen *et al.* (2000b), un mínimo de 45 μmol de glucógeno muscular serían necesarios para bajar el pH desde 7.2 a 5.5 en un 1 kg de músculo.

Situación mundial e impacto económico

Aunque el defecto de corte oscuro en la carne de res ha sido objeto de una extensa investigación con numerosas asociaciones establecidas con diversas prácticas de producción, el corte oscuro todavía ocurre. Las proporciones reportadas de carne DFD de manera global se establecen en un intervalo que va de 1.0 % a 47.63 % (Donkersgoed *et al.*, 2001; Leyva-García *et al.*, 2012).

En Europa occidental, se han reportado incidencias en corte oscuro en países como Francia con 3.4 % (Mounier et al., 2006); Reino Unido con 8.8% (Warriss and Brown, 2008) y España con 13.9 % (Mach et al., 2008). Europa, como continente, es la región del mundo que presenta los valores más bajos en las incidencias de carne DFD. En Asia, el mercado coreano de la carne reportó una frecuencia de corte oscuro de aproximadamente 9 % (Park et al., 2007). En Oceanía, debido a las características de los sistemas de explotación de rumiantes en esta región, las investigaciones realizadas han puesto más interés en el corte oscuro de ovejas en relación a los bovinos, no obstante, en caso de estos últimos, se han observado porcentajes en corte oscuro de hasta 9.1 en Australia (Warner et al., 2014) y de 4.3 en Nueva Zelanda (Wiklund et al., 2009). En Sudamérica, estudios realizados en el sur de Chile mostraron una incidencia que fluctúa entre el 4.0 % y hasta 40.0 %, (Gallo, 2004). En América del norte, se observó un incremento de esta miopatía en Estados Unidos durante un periodo de 7 años, pasando de 1.9 % en 2005 a 3.2 % en 2012 (Garcia et al., 2008; Moore et al., 2012). Canadá, con 1.3 % de corte oscuro, cuenta con la menor incidencia reportada hasta ahora en esta región (Beef Cattle Research Council, 2013). En México, la frecuencia de carne DFD ha sido establecida en porcentajes que van de 8.1 % a 47.7 % (Pérez et al., 2006; Sotelo et al., 2008; Leyva et al., 2012), dependiendo de varios factores como el tipo de centro de sacrificio evaluado y la estación del año, dado que la presencia de la carne DFD ha sido mayor en época cálida (Pérez-Linares et al., 2013).

Gallo (2010) establece que, a pesar de que el fenómeno DFD solo se registra en algunos músculos o cortes de la canal, esta en su totalidad será degradada, ocasionando pérdidas económicas importantes para los productores. En general, las pérdidas económicas por corte oscuro se pueden dividir en: 1) Pérdidas para el productor: baja en el precio por kilo de canal; 2) Pérdidas para la planta de sacrificio: baja en el precio unitario de venta de carne (congelada vs al vacío); y 3) Costos para la planta de sacrificio: costos por día de frío (dado que la carne no se puede envasar al vacío) (Vidal, 2007).

En España, por ejemplo, la industria cárnica penaliza el precio en canal con descuentos que están entre el 30% y 60% (Mach et al., 2008). En Canadá, aunque su

incidencia de corte oscuro es baja, esta representa aproximadamente \$ 1.4 millones en valor perdido cada año (Holdstock et al., 2014). En Estados Unidos, el Departamento de agricultura (USDA, por sus siglas en inglés) informó que el descuento ocasionado por el corte oscuro fue de 30 dólares por 100 libras de peso en canal, lo que equivale a una pérdida de aproximadamente 165 millones de dólares para la industria de carne de res o 5.43 dólares por novillo y novilla evaluadas en el año 2000 (Miller, 2007).

Más aún, en muchos países en vías desarrollo, estas pérdidas son todavía mas altas porque el sistema de mercadeo no siempre proporciona un incentivo económico para reducirlas (Chambers and Grandin, 2004).

En Brasil, anualmente se genera un perjuicio superior a 144 millones de dólares debidos a un mal manejo de los bovinos, desde el transporte hasta el sacrificio. Se calcula que los daños en canales son de 26 millones; la pérdida en peso, en los viajes, ascienden a 112 millones y por muertes en tránsito aproximadamente; 6 millones de dólares por año (Funes and Sandoval, 2005). Según Huertas (2007), en Uruguay los problemas ocasionados por carne con corte oscuro dieron una pérdida de valor de las canales de 32.52 dólares por animal, si se considera un promedio anual de faena de 1,800,000 animales, el país pierde 58 millones de dólares al año. En Chile, debido a la presencia de carne DFD, las pérdidas económicas son equivalentes a 2 bovinos de un grupo de 40, es decir, alrededor del 5.0 %. (Hargreaves et al., 2004). En México, específicamente en la región noroeste de país, la carne DFD provoca una disminución cercana al 10.0% de su valor de la canal, que se traduce en una reducción de precio por cada canal de 88.58 dólares (Leyva et al., 2012).

LITERATURA CITADA

- Adzitey, F. and H. Nurul. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences. A mini review. *Int Food Res J.* 18: 11-20.
- Alarcón, A.D., J. O. Duarte., F. A. Rodríguez y H. Janacua. 2005. Incidencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Téc Pecu Méx.* 43(3):335-346.
- Amtmann, V. A., C. Gallo., G. Van Schaik y N. Tadich. 2006. Relaciones entre el manejo *antemortem*, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Arch. Med. Vet.* 38(3): 259-264.
- Apablaza A., A. Galaz., P. Strobel., A. Ramírez-Reveco., N. Jeréz-Timaure and C. Gallo. 2015. Glycolytic potential and activity of adenosine monophosphate kinase (AMPK), glycogen phosphorylase (GP) and glycogen debranching enzyme (GDE) in steer carcasses with normal (<5.8) or high (>5.9) 24h pH determined in *M. longissimus dorsi*. *Meat Science.*101:83-89.
- Apple, J.K., E. B. Kegley., C. B. Boger., J. W. Roberts., D. Galloway and L. K. Rakes. 2002. Effects of restraint and isolation stress on stress physiology and the incidence of dark-cutting longissimus muscle in Holstein steers. *AAES Research Series.* 499:73-77.
- Becker, T. 2000. Consumer perception of fresh meat quality: A framework for analysis. *British Food Journal.* 102: 158-176.
- Beef Cattle Research Council. National beef quality audit 2010/11 plant carcass audit. Canadian Cattlemen's Association. Canadá. 2013. Disponible en: http://www.beefresearch.ca/files/pdf/fact-sheets/nbqa_full_brochure_feb_2013.pdf
- Beer, M. 2003. Dark cutting beef-managing cattle to reduce DCB. Department of Primary Industries. New South Wales, Australia. Disponible en: <https://www.dpi.nsw.gov.au/animals-and-livestock/beef-cattle/management/market-information/dcb-cattle-mgt>
- Berman, A., Talia Horovitz., M. Kaim and H. Gacitua. 2016. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *Int J Biometeorol.* 60: 1453–1462.
- Bjelanovic, M., O. Sørheim., E. Slinde., E. Puolanne., T. Isaksson and B. Egelanddsdal. 2013. Determination of the myoglobin states in ground beef using non-invasive reflectance spectrometry and multivariate regression analysis. *Meat Science.* 95: 451–457.

- Bourguet, C., V. Deiss., C. Cohen-Tannugi., and E. M. C. Terlouw. 2011. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Science*. 88(1): 158-168.
- Braña-Varela, D., A. Vélez-Izquierdo., J. Espinosa-García., G. Moctezuma-López., M. M. Pérez-Díaz., J. L. Jolalpa-Barrera., G. Martínez-Trejo y A. L. Esparza-Carrillo. 2012. Calidad en puntos de venta de carne. SAGARPA-CONACYT-COFUPRO. 1ª edición. p. 4-41.
- Brewer, M., J. Jensen., A. Sosnicki., B. Fields., E. Wilson and F. K. McKeith. 2002. The effect of pig genetics and palatability, colorant physical characteristics of fresh loin chops. *Meat Science*. 61(3):56-249.
- Brown, S., E. Beavis and P. Warris. 1990. An estimate of the incidence of dark cutting beef in the United Kingdom. *Meat Science*. 27: 249-258.
- Bruce, H. L and R. O. Ball. 1990. Postmortem interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. *J Anim Sci*. 68(12): 4167-4175.
- Campo, M., G. Brito., J. Soares de Lima., P. Hernández and F. Montossi. 2010. Finishing diet, temperament and lairage time effects on carcass and meat quality traits in steers. *Meat Science*. 86: 908–914.
- Chambers, P and T. Grandin. 2001. Guidelines for humane handling, transport and slaughter of livestock. FAO-HSI. p. 1-91.
- Chambers, P.G and T. Grandin. 2004. Marketing Systems and Losses. In: *Guidelines for Humane Handling, Transport and Slaughter of Livestock*. FAO. Pages: 3-11
- Chen, Y., R. Arsenault., S. Napper and P. Griebel. 2015. Models and Methods to Investigate Acute Stress Responses in Cattle. *Animals*. 5(4): 1268-1295.
- Chulayo, A. Y., G. Bradley and V. Muchenje. 2016. Effects of transport distance, lairage time and stunning efficiency on cortisol, glucose, HSPA1A and how they relate with meat quality in cattle. *Meat Science*. 117: 89–96.
- CIE. Commission-Internationale-de-l'Eclairage. 1978. Recommendations on uniform color spaces color difference equations, psychometric color terms. CIE. No. 2. p. 9-12.
- CMC. 2017. Compendio estadístico 2017. Consejo Mexicano de la Carne. México. p. 3-7. Disponible en: <http://comecarne.org/wp-content/uploads/2018/05/Compendio-Estad%C3%ADstico-2017-v7-1-sin-elab.pdf>
- De Juan Vigaray M. D. 2004. El comportamiento de ir de compras del consumidor. En M. D. De Juan Vigaray, *Comercialización y Retailing: Distribución comercial aplicada*. Madrid: Prentice Hall. p 150-191.

- Delgado, E. J., M. S. Rubio., F. A. Iturbide., R. D. Méndez., L. Cassis and R. Rosiles. 2005. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science*. 69(3): 465-471.
- Díaz, M.T., S. Velasco., C. Pérez., S. Lauzurica., F. V. Huidobro and V. Cañeque. 2003. Physico-chemical characteristics of carcass and meat Manchego-breed suckling lambs slaughtered at different weights. *Meat Science*. 65(3): 1085-1093.
- Díaz, M. T., C. Vieirad., C. Pérez., S. Lauzurica., E. González de Chávarri., M. Sánchez and J. De la Fuente. 2014. Effect of lairage time (0 h, 3 h, 6 h or 12 h) on glycogen content and meat quality parameters in suckling lambs. *Meat Science*. 96(2): 653-660.
- Donkersgoed, J. V., G. Jewison., S. Bygrove., K. Gillis., D. Malchow and G. McLeod., 2001. Canadian beef quality audit 1998-99. *Can Vet J*. 42: 121-126.
- Dunne, P. G., M. G. Keane., F. P. O'Mara., F. J. Monahan and A. P. Moloney. 2004. Colour of subcutaneous adipose tissue and *M. longissimus dorsi* of high index dairy and beef× dairy cattle slaughtered at two liveweights as bulls and steers. *Meat Science*. 68(1): 97-106.
- England E. M., T. L. Scheffler., S. C. Kasten., S. K. Matarneh and D. E. Gerrard. 2013. Exploring the unknowns involved in the transformation of muscle to meat. *Meat Science*. 95: 837-843.
- Ferguson, D. M., H. L. Bruce., J. M. Thompson., A. F. Egan., D. Perry and W. R. Shorthose. 2001. Factors affecting beef palatability-farm gate to chilled carcass. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41: 879-891.
- Ferguson, D. M., R. D. Warner., P. J. Walker and B. Knee. 2007. Effect of cattle marketing method on beef quality and palatability. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 774–781
- Ferguson, D. M. and R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*. 80: 12–19.
- Fernández-López, J., J. Pérez-Álvarez., M. Sayas-Barbera and V. Aranda-Catalá. 2000. Characterization of the different states of myoglobin in pork meat using color parameters and reflectance ratios. *J. Mus Food*. 11:68-157.
- Ferreira, G. B., C. L. Andrade., F. Costa., M. Q. Freitas., T. J. P. Silva and I. F. Santos. 2006. Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. *Meat Science*. 74(3): 459-466.
- Field, T. G. and D. L. VanOverbeke. 2007. The Quality Revolution. In: *Handbook of Beef Safety and Quality*. Editor: Deborah VanOverberke. 1st Edition. Ed. CRC Press. p. 79-91.

- FIRA. Panorama Agroalimentario. Carne de Bovino 2017. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. p. 16-17. México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017__1_.pdf
- Funes, C. and G. Sandoval. 2005. Quality of the bovine meat and well-being animal in the south of the province of Cordoba. Rio Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Gallo, C., G. Lizondo and T. D. Knowles. 2003. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. Veterinary Record. 152: 361-364.
- Gallo, C. 2004. Carnes de corte oscuro en bovinos. Revista Americarne para América Latina y El Caribe, Año VIII(41): 10–13.
- Gallo, C. 2016. Transporte y reposo previos al sacrificio en bovinos y su relación con la calidad de la carne. En: Bienestar animal una visión global en Iberoamérica, ed. Mota, D., A. Velarde, S. Huertas, M. Cajiao. 3ª edición. Elsevier. España. p. 213-229.
- García, L.G., K. I. Nicholson., T. W. Hoffman., T. E. Lawrence., D. S. Hale., D. B. Griffin., J. Savell., D. VanOverbeke., J. Morgan., K. Belk., T. Field., J. Scanga., J. Tatum and G. Smith. 2008. National Beef Quality Audit-2005: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. J Anim Sci. 86: 3533- 43.
- Gardner, G. E., R. H. Jacob and D. W. Pethick. 2001. The effect of magnesium oxide supplementation on muscle glycogen metabolism before and after exercise and at slaughter in sheep. Australian Journal of Agricultural Research. 52(7): 723-729.
- Gardner, G. E., P. McGilchrist and D. W. Pethick. 2014. Ruminant glycogen metabolism. Animal Production Science. 54: 1575–1583.
- Grandin, T. 2007. El ganado arisco y la carne oscura, cómo minimizar su impacto. En: Seminario regional sobre bienestar animal, estrategias de difusión de buenas prácticas ganaderas. Sitio Argentino de Producción Animal. p. 95-100.
- Grandin, T. 2017. Recommended animal handling guidelines & audit guide: a systematic approach to animal welfare. (Rev. 1). American Meat Institute Foundation. (Chapter 4).
- Greenwood, P. L., S. Harden and D. L. Hopkins. 2007. Myofibre characteristics of ovine longissimus and semitendinosus muscles are influenced by sire breed, gender, rearing type, age and carcass weight. Animal Production Science. 47(10): 1137-1146.
- Gregory, N.G. 2008. Animal welfare at markets and during transport and slaughter. Meat Science. 80(1): 2-11

- Gregory, N. G. 2010. How climatic changes could affect meat quality. *Food Research International*. 43: 1866–1873.
- Hanson, D.J., K. Kirchofer and C. R. Calkins. 2001. The Role of Muscle Glycogen in Dark Cutting Beef. *Nebraska Beef Cattle Reports*. 298. Disponible en: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1297&context=animalscinbcr>
- Hargreaves A., L. Barrales., I. Peña., R. Larraín y L. Zamorano. 2004. Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de bovinos. *Cien. Inv. Agr.* 31(3): 155-166.
- Hernández J. y F. Ríos. 2009. Efecto de los grupos raciales bovinos en las características de calidad de la carne. *Nacameh*. 3(1): 1-20.
- Holdstock, J., J. L. Aalhus., B. A. Uttaro., Ó. López-Campos., I. L. Larsen and H. L. Bruce. 2014. The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the longissimus thoracis within the dark cutting (Canada B4) beef carcass grade. *Meat Science*. 98(4): 842-849.
- Hopkins, D. L., D. F. Stanley., L. C. Martin., E. S. Toohey and A. R. Gilmour. 2007. Genotype and age effects on sheep meat production. 3. Meat quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 47(10): 1155-1164.
- Huertas, S. M. 2007. Puntos críticos que afectan el bienestar de los animales. Recomendaciones para mejorar la calidad de la carne. En: Seminario regional sobre bienestar animal: Estrategias de difusión de buenas prácticas ganaderas. Montevideo, Uruguay. Págs. 8-19
- Huertas, S. M., A. D. Gil., J. M. Piaggio and F. J. C. M. van Eerdenburg. 2010. Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcasse bruising in an extensive production system. *Animal Welfare*. 19: 281-285.
- Huff-Loneragan, E., W. Zhang and S. M. Lonergan. 2010. Biochemistry of postmortem muscle. Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*. 86: 184-195.
- Hughes, J., F. Clarke and P. Purslow., R. Warner. 2018. A high rigor temperature, not sarcomere length, determines light scattering properties and muscle colour in beef M. sternomandibularis meat and muscle fibres. *Meat Science*. 145: 1-8.
- Immonen, K., M. Ruusunen., K. Hissa and E. Puolanne. 2000a. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*. 55(1): 25-31.
- Immonen, K., M., Ruusunen and E. Puolanne. 2000b. Some effects of residual glycogen concentration on the physical and sensory quality of normal pH beef. *Meat Science*. 55(1): 33-38.

- IPCA. 2012. Evaluación del trato a los animales en instalaciones de remates ferias. Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina. Cuadernillo técnico N° 12. Argentina. p. 15 – 26. Disponible en: <http://www.ipcva.com.ar/files/ct12.pdf>
- Jacob, R. H., G. E. Gardner and D. W. Pethick. 2009. Repletion of glycogen in muscle is preceded by repletion of glycogen in the liver of Merino hoggets. *Animal Production Science*. 49: 131–138.
- Kadim, I. T., O. Mahgoub., D. S. Al-Ajmi., R. S. Al-Maqbaly., S. M. Al-Mugheiry and D. Y. Bartolome. 2004. The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef m. longissimus thoracis. *Meat Science*. 66(4): 831-836.
- Karakaya, M., C. Saricoban and M. Yilalmaz. 2005. The effect of mutton, goat, beef and rabbit-meat species and state of rigor on some technological parameters. *Journal of Muscle Foods*. 17:56-64.
- Kim, J. M., Y. J. Lee., Y. M. Choi., B. C. Kim., B. H. Ryu and K. C. Hong. 2008. Possible muscle fiber characteristics in the selection for improvement in porcine lean meat production and quality. *Asian Australas J Anim Sci*. 21(10):1529-1534.
- Klont, R. E., V. M. H. Barnier., F. J. M. Smulders., A. Van Dijk., A. H. Hoving-Bolink and G. Eikelenboom. 1999. Post-mortem variation in pH, temperature, and colour profiles of veal carcasses in relation to breed, blood haemoglobin content, and carcass characteristics. *Meat Science*. 53(3):195-202.
- Konica-Minolta. 2007. Precise color communication. Konica Minolta Sensing Inc. Japan. p. 1-59. Disponible en: https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf
- Kreikemeier, K. K., J. A. Unruh and T. P. Eck. 1998. Factors affecting the occurrence of dark-cutting beef and selected carcass traits in finished beef cattle. *Journal of Animal Science*. 76(2): 388-395.
- Lawrie, R. and D. Ledward. 2006. Woodhead publishing in food science, technology and nutrition. En: Lawrie's meat science, ed. Lawrie, R., A. Ledward. Woodhead Publishing. 7ª edición. p. 175-178.
- Leyva-García, I. A., F. Figueroa-Saavedra., E. Sánchez-López., C. Pérez-Linares and A. Barreras-Serrano. 2012. Economic impact of DFD beef in a Federal Inspection Type (TIF) slaughterhouse. *Arch Med Vet*. 44: 39-42.
- Lin-qiang, L. I., Tian Wan-qiang and Zan Lin-sen. 2011. Effects of Age on Quality of Beef from Qinchuan Cattle Carcass. *Agricultural Sciences in China*. 10(11): 1765-1771.
- López-Hernández, L., D. Braña-Varela y I. Hernández-Hernández. 2013. Estimación de la vida de anaquel de la carne. SAGARPA-CONACYT -COFUPRO. 1ª edición. p. 1-77.

- Mach, N., A. Bach., A. Velarde and M. Devant, M. 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science*. 78(3): 232-238.
- Mahecha, L., L. Gallego y F. Pelaez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad . *Revista Colombiana Ciencia Pecuaria*. 15(2): 213-225.
- Mahmood, S., J. A. Basarab., W. T. Dixon and H. L. Bruce. 2016a. Can potential for dark cutting be predicted by phenotype? Relationship between sex, carcass characteristics and the incidence of dark cutting beef. *Canadian Journal of Animal Science*. 96. 19-31.
- Mahmood, S., J. A. Basarab., W. T. Dixon and H. L. Bruce. 2016b. Relationship between phenotype, carcass characteristics and the incidence of dark cutting in heifers. *Meat Science*. 121: 261-271.
- María, G. A., M. Villarroel., C. Sañudo., J. L. Olleta and G. Gebresenbet. 2003. Effect of transport time and ageing on aspects of beef quality. *Meat Science*. 65(4): 1335-1340.
- May, S. G., H. G. Dolezal., D. R. Gill., F. K. Ray and D. S. Buchanan. 1992. Effects of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *J. Animal Sci*. 70: 444-453.
- McGilchrist, P., C. L. Alston., G. E. Gardner., K. L. Thomson and D. W. Pethick. 2012. Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. *Meat Science*. 92: 474–480.
- McPhail, N., J. Stark., A. Ball and R. Warner. 2014. Factors influencing the occurrence of high ultimate pH in three muscles of lamb carcasses in Australia. *Animal Production Science*. 54(10): 1853-1859.
- McVeigh, J. M. and P. V. Tarrant. 1982. Glycogen content and repletion rates in beef muscle, effect of feeding and fasting. *Journal of Nutrition*. 112: 1306–1315.
- Mencarini I. 2002. Efecto de dos densidades de carga y dos tiempos de transporte sobre el contenido de glucógeno hepático y muscular, pH y color de la carne en bovinos. Memoria de Titulación, Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Austral de Chile.
- Miguel, G. Z., M. H. Faria., R. O. Roça., C. T. Santos., S. P. Suman., A. B. G. Faitarone., N. L. C. Delbem., L. V. C. Girao., G. J. Homem., E. K. Barbosa., L. S. Su., F. D. Resende., G. R. Siqueira., A. D. Moreira and T. V. Savian. 2014. Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore× Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. *Meat Science*. 96(2): 884-891.

- Miller, M. 2007. Dark firm and dry beef. BEEF FACTS Product Enhancement. Texas Tech University. Disponible en:
<https://fyi.extension.wisc.edu/wbic/files/2011/04/Dark-Firm-and-Dry-Beef.pdf>
- MINAGRI, Ministerio de Agricultura de Chile. 2009. Reglamento sobre estructura y funcionamiento de mataderos, establecimientos frigoríficos, cámaras frigoríficas y plantas de desposte, y fija equipamiento mínimo para tales establecimientos. Diario Oficial 2009. Disponible en:
https://app.vlex.com/#WW/vid/239680030/graphical_version
- Miranda-de la Lama, G. C., I. G. Leyva., A. Barreras-Serrano., C. Pérez-Linares., E. Sánchez-López., G. A. María and F. Figueroa-Saavedra. 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. Trop Anim Health Prod. 44: 21-27.
- Moore, M. C., G. D. Gray., D. S. Hale., C. R. Kerth., B. D. Griffin., J. W. Savell., C. Raines., K. Belk., D. Woerner., J. Tatum., et al. 2012. National Beef Quality Audit–2011: In-plant survey of targeted carcass characteristics related to quality, quantity, value, and marketing of fed steers and heifers. J Anim Sci. 90(13): 5143-5151.
- Mota, D., S. Huertas., A. Alarcón., C. Pérez., I. Guerrero., A. Carrasco y M. Ghezzi. 2016. Músculo oscuro, firme y seco en bovinos: mecanismos involucrados. En: Bienestar animal una visión global en Iberoamérica. ed. Mota, D., A. Velarde, S. Huertas, M. Cajiao. 3ª edición. Elsevier. España. p. 477-493.
- Mounier, L., H. Dubroeucq., S. Andanson and I. Veissier, I. 2006. Variations in meat pH of beef Bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. Journal of Animal Science. 84(6): 1567-1576.
- Nanni-Costa, L., D. Lo-Friego., F. Tassone and V. Russo. 2006. The relationship between carcass bruising in bulls and behavior observed during pre-slaughter phases. Veterinary Research Communications. 30(3): 379-381.
- Njisane, Y. Z. and V. Muchenje. 2017. Farm to abattoir conditions, animal factors and their subsequent effects on cattle behavioural responses and beef quality. A review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 30(6): 755-764.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación. Disponible en:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015
- Norma-Mexicana, NMX-FF-078-2002. Productos pecuarios. Carne de bovino en canal. Clasificación. Diario Oficial de la Federación. Disponible en:
<https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-078-2002.PDF>
- Núñez-López, J. J., J. A. Ortega-Gutierrez., M. Soto-Zapata., M. D. Rodríguez-Aguilar., J. E. Magaña-Magaña y L. P. Lincón-Trillo. 2012. Factores socioeconómicos y

- culturales que determinan el consumo de carne de bovino en Ciudad Juárez Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 16(31): 74-85.
- OIE. 2018. *Terrestrial Animal Health Code*. (27th ed.). World Organisation for Animal Health, (Chapter 7.5: Slaughter of animals). Disponible en: http://www.rr-africa.oie.int/docspdf/en/Codes/en_csat-vol1.pdf
- Mc Gilchrist, P., C. L. Alston., G. E. Gardner., K. L. Thomson and D. W. Pethick. 2012. Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. *Meat Science*. 92(4): 474-480.
- Page, J. K., D. M. Wulf and T. R. Schwotzer. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science*. 79(3), 678-687.
- Park, B. Y., J. M. Lee and I. H. Hwang. 2007. Effect of postmortem metabolic rate on meat color. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 20(4): 598- 604.
- Pérez-Linares C., F. Figueroa-Saavedra and A. Barreras-Serrano. 2006. Relationship between management factor and the occurrence of DFD meat in cattle. *Journal of Medicine and Veterinary Advances*. 5(7):578-581.
- Pérez-Linares, C., E. Sánchez-López., F. G. Ríos-Rincón., J. A. Olivas-Valdéz., F. Figueroa-Saavedra y A. Barreras-Serrano. 2013. Factores de manejo pre y post sacrificio asociados a la presencia de carne DFD en ganado bovino durante la época cálida. *Rev Mex Cienc Pecu*. 4(2):149-160.
- Ponce-Alquicira, E., D. Braña-Varela., L. López-Hernández y E. Delgado-Suárez. 2013. Evaluación de la frescura de la carne. SAGARPA-CONACYT-COFUPRO. 1ª edición. p. 4-84.
- Price, J. and B. Schweigert. 1994. Alimento de origen animal. En: *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza España. Acribia. p. 139-166.
- Roca, A. J. 2011. Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. *Espamciencia*. 2(1): 15-25.
- Roldan, P., L. de la Cruz., A. Tarazona., J. Buenhombre., R. Acerbi., E. de Varona y D. Mota. 2016. Bienestar animal en mercados ganaderos. En: *Bienestar animal una visión global en Iberoamérica*. ed. Mota, D., A. Velarde, S. Huertas, M. Cajiao. 3ª edición. Elsevier. España. p. 155-166.
- Rubio-Lozano, M., D. Braña-Varela., R. Méndez-Medina y E. Delgado-Suárez. 2013a. *Sistemas de producción y calidad de carne bovina*. SAGARPA-CONACYT-COFUPRO. 1ª edición. p. 4-49.
- Rubio-Lozano, M., D. Braña-Varela., R. Méndez-Medina., G. Torrescano-Urrutia., A. Sánchez-Escalante., C. Pérez-Linares., F. Figueroa-Saavedra., E. Delgado-

- Suárez. 2013b. Guía práctica para la estandarización y evaluación de las canales bovinas Mexicanas. SAGARPA-CONACYT-COFUPRO 1ª edición. p. 6-66.
- Sánchez, E., C. Navarro., M. Estrella., E. Sendra., J. Fernández y J. Pérez. 2016. Análisis de diferentes factores que afectan a la calidad de la carne: Factores intrínsecos y ante-mortem. En: Bienestar animal una visión global en Iberoamérica, ed. Mota, D., A. Velarde, S. Huertas, M. Cajiao. 3ª edición. Elsevier. España. p. 495-510.
- Sañudo, C., F. Monson., M. M. Campo., J. A. Beltrán y J. M. Bello. 2005. Variación del pH en canales comerciales de cordero. ITEA, Vol. Extra N.º 26. Tomo II, 703-705. http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2005/comunicaciones/2005_CdP_13.pdf
- Savell, J. W., S. L. Mueller and B. E. Baird. 2005. The chilling of carcasses. Meat Science. 70(3): 449-59.
- Sawyer, J., J. Apple., Z. Johnson., R. Baublits and J. Yancey. 2009. Fresh and cooked color of darkcutting beef can be altered by post-rigor enhancement with lactic acid. Meat Science. 83(2): 263-270.
- Scanga, J. A., K. E. Belk., J. D. Tatum., T. Grandin and G. C. Smith. 1998. Factors contributing to the incidence of dark cutting beef. Journal of Animal Science. 76: 2040-2047.
- Schaefer, A. L., S. D. Jones and R. W. Stanley. 1997. The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. Journal of Animal Science. 75(1): 258-265.
- Schaefer, A. L., P. L. Dubeski., J. L. Aalhus and A. K. W. Tong. 2001. Role of nutrition in reducing *ante mortem* stress and meat quality aberrations. Journal of Animal Science. 79(5): 91-101.
- Schnettler, B., R. Vidal., R. Silva., L. Vallejos and N. Sepúlveda. 2007. Consumer perception of animal welfare and livestock production in the Araucania region, Chile. Chilean Journal Agriculture Research. 68: 80-93.
- Smiecinska, K., J. Denaburski and W. Sobotka. 2011. Slaughter value, meat quality, creatine kinase activity and cortisol levels in the blood serum of growing-finishing pigs slaughtered immediately after transport and after a rest period. Polish Journal of Veterinary Sciences. 14(1):47-54.
- Sotelo, A. P., C. Pérez-Linares., F. Figueroa-Saavedra., A. Barreras-Serrano and E. Sánchez-López. 2008. Evaluation of Changes in Management Practices on Frequency of DFD Meat in Cattle. Journal of Animal and Veterinary Advances. 7(3): 319-321.
- Speer, N., G. Slack and E. Troyer. 2001. Economic factors associated with livestock transportation. Journal of Animal Science. 79(1):166-170.

- Stevenson, C.R., B.W. Knee., A.C. Philpotts and R.C. Warner. 1996. Investigation into the occurrence of dark cutting in beef carcasses. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 21: 147 – 150.
- Strappini, A. C., J. M. Metz., C. Gallo and B. Kemp. 2009. Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *The Animal Consortium*. 3(5): 728-736.
- Tadich, N., C. Gallo., R. Echeverría and G. Van Schaik. 2003. Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 35(2): 171-185.
- Tarrant, P. V. 1989. Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef. A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*. 13(1): 1-21.
- Tejada, J., R. Peña and A. Andrés. 2008. Effect of live weight and sex on physico-chemical and sensorial characteristics of merino lamb meat. *Meat Science*. 80(4):7-1061.
- Teke, B., F. Akdag., B Ekiz and M. Ugurlu. 2014. Effects of different lairage times after long distance transportation on carcass and meat quality characteristics of Hungarian Simmental bulls. *Meat Science*. 96: 224–229.
- Tellez-Delgado, R., J. Mora-Flores., M. A. Martínez-Damián., R. García-Mata y J. A. García-Salazar. 2012. Caracterización del consumidor de carne bovina en la zona metropolitana del Valle de México. *Agrociencia*. 46: 75-86.
- Umberger, W. J. 2007. Beef Quality, Beef Demand, and Consumer Preferences. In: *Handbook of Beef Safety and Quality*. Editor: Deborah VanOverberke. 1st Edition. Ed. CRC Press. p. 175-195.
- Velarde, A. and A. Dalmau. 2012. Animal welfare assessment at slaughter in Europe: Moving from inputs to outputs. *Meat Science*. 92: 244-251.
- Vestergaard, M., N. Oksbjerg and P. Henckel. 2000. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fiber characteristics and meat colour of semitendinosus, *longissimus dorsi* and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Science*. 54: 177–185.
- Vilaboa-Arroniz, J., P. Díaz-Rivera., O. Ruiz-Rosado., D. Platas-Rosado., S. González-Muñoz and F. Juárez-Lagunes. 2009. Patrones de consumo de carne bovina en la region de papaloapan, Veracruz, México. *Agricultura. Sociedad y Desarrollo*. 6(2): 145-159.
- Voisinet, B. D., T. Grandin., S. F. O'Connor., J. D. Tatum and M. J. Deesing. 1997. *Bos indicus* cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*. 46: 367-377.

- Warner, R.D., P. J. Walker., G. A. Eldridge and J. L. Barnett. 1998a. Effects of marketing procedure and livestock change prior to slaughter on beef carcass and meat quality. *Proc. Aust. Soc. Anima. Prod.* 22: 165–168.
- Warner, R. D., T. G. Truscot., G. A. Eldridge and P. R. Franz. 1998b. A survey of the incidence of high pH beef meat in Victorian abattoirs. In *34th International Congress of Meat Science and Technology*. Brisbane, Australia. p. 150–151.
- Warner, R. D., F. R. Dunshea., D. Gutzke., J. Lau and G. Kearney. 2014. Factors influencing the incidence of high rigor temperature in beef carcasses in Australia. *Animal Production Science*. 54: 363-374.
- Warren, L. A., I. B. Mandell and K. G. Bateman. 2010. Road transport conditions of slaughter cattle: Effects on the prevalence of dark, firm and dry beef. *Canadian journal of Animal Science*, 90(4): 471- 482.
- Warris, P. D., S. C. Kestin., S. N. Brown and L. J. Wilkins. 1984. The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting beef. *Meat Science*. 10(1): 53-68.
- Warris, P. D. and S. N. Brown. 2008. Identifying practical ways to reduce the prevalence of Dark Cutting Beef (DCB) in young bulls by better animal handling ante-mortem. Disponible en:
http://beefandlamb.ahdb.org.uk/wp/wp-content/uploads/2013/04/darkcuttingbeef_181010-final-report.pdf
- Węglarz, 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.
- Wiklund, E., M. Farouk., A. Stuart., P. Dobbie., D. Lomiwes and D. Frost. 2009. Survey of current pH status in New Zealand bull beef. In *Proceedings of the 55th International Congress of Meat Science and Technology*. Copenhagen. p. 221-223. Disponible:
https://www.researchgate.net/publication/269699757_Survey_of_current_pH_status_in_New_Zealand_bull_beef
- X-rite. 2016. A guide to understanding color communication. X-rite Incorporated. X-rite Inc. USA. p. 1-39. Disponible en:
https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/l10-001_a_guide_to_understanding_color_communication/l10-001_understand_color_en.pdf
- Yang, A., M. Lanari., M. Brewster and R. Tume. 2002. Lipid stability and meat colour of beef from pasture and grain-fed cattle with or without vitamin e supplement. *Meat Sci.* 60(1):41-50.
- Zimerman, M. 2008. pH de la carne y factores que lo afectan. En: *Aspectos estratégicos para obtener carne ovina de calidad en el cono sur Americano*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 1ª edición. p. 141-152.

CAPÍTULO

III

ARTÍCULO I

Evaluación de los componentes del manejo antes, durante y después del sacrificio y su asociación sobre la presencia de carne DFD de bovino en el noreste de México.

An evaluation of pre, during and post slaughter variables and its association with the presence of bovine DFD meat in northeastern Mexico

Jorge Loredó-Ostia^{a,b}, Eduardo Sánchez-López^a, Alberto Barreras-Serrano^a, Fernando Figueroa-Saavedra^a, Cristina Pérez-Linares^a, Miguel Ruiz-Albarrán^b.

Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, México.

Enviado a:

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias

-
- a. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California.
 - b. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Evaluación de los componentes del manejo antes, durante y después del sacrificio y su asociación sobre la presencia de carne DFD de bovino en el noreste de México.

An evaluation of pre, during and post slaughter variables and its association with the presence of bovine DFD meat in northeastern Mexico

Jorge Loredo-Ostia^{ab}, Eduardo Sánchez-López^a, Alberto Barreras-Serrano^a, Fernando Figueroa-Saavedra^a, Cristina Pérez-Linares^a, Miguel Ruiz-Albarrán^b.

a. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California.

b. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Resumen

Un total de 27 variables de manejo antes, durante y después del sacrificio, en 394 animales en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal localizada en el noreste de México, fueron analizadas y utilizadas para determinar su asociación sobre la presencia de carne DFD. El estudio se realizó de noviembre de 2016 a agosto de 2017. El contraste entre clases para los componentes de manejo se realizó con t de Student y Chi-cuadrada en función de la naturaleza de la variable. La asociación se estimó con Odds Ratio utilizando regresión logística múltiple. La frecuencia de carne DFD fue del 13.45%. Solo las variables: tiempo que el ganado pasó en corral antes del sacrificio, la eficacia del insensibilizado, el espesor de la grasa subcutánea y el diferencial de pH de la canal establecido con 24 horas de diferencia resultaron significativas en el modelo logístico múltiple ($p < 0.01$). El desarrollo de programas preventivos para reducir este problema debe incluir las variables que componen el proceso de sacrificio y de la manipulación de la canal que de acuerdo a una determinación caso por caso son diagnosticadas como relevantes.

Palabras clave: *Carne DFD, bovino, antes, durante y después del sacrificio.*

Abstract

To estimate the relation between the presence of DFD meat in bovine carcasses and a group of 27 pre slaughter, slaughter and post slaughter variables, a sample of 394 bovines was used. The bovines were slaughter between November 2016 and august 2017. The comparison between classes was performed using t-student and chi-squared test based on the nature of the variable. To determine if an association between variables was present the odds ratio was calculated using a logistic regression model. The occurrence of DFD meat was 13.45%. The variables that showed a statistical significance ($p < .001$) were: Time in the waiting pen, stunning, subcutaneous fat thickness, and the change in pH 24 hours after slaughter. DFD meat prevention programs should include a comprehensive evaluation of the slaughter process so that is possible to determine on a case by case basis which variables have a higher relation with the DFD meat problem.

Key words: *DFD meat, bovine, pre and post slaughter.*

1. Introducción

La carne DFD (Dark, Firm and Dry) es un problema que ha afectado a la calidad sanitaria, fisicoquímica y sensorial del producto (1,2), debido a su pH alto (>5.8) que favorece el crecimiento de flora bacteriana y por lo tanto su disminución en la vida de anaquel (3,4). La carne DFD presenta además un color rojo oscuro y textura pegajosa, que da la apariencia de ser carne de animales viejos o que ha sido almacenada durante mucho tiempo (5,6). Esto propicia una baja aceptabilidad en el consumidor y pérdidas económicas a los productores (7,8). En México, la pérdida por canal con problema DFD es de 88.58 dólares estadounidenses (9), superior a los 6.08 de pérdida por canal encontrada en EE.UU. (10). La carne DFD presenta, además, los siguientes problemas: incremento en la capacidad de retención de agua, palatabilidad pobre, textura más firme y mayor absorción de luz, afectando su aptitud tecnológica para la elaboración de productos cárnicos (11,12,13,14,15).

El grado de disminución del pH *post mortem*, está directamente relacionado con el nivel de estrés del animal antes del sacrificio (16,17). Un grado alto de estrés hace que las

reservas de glucógeno muscular se consuman reduciendo el nivel de ácido láctico que se desarrolla en la carne luego de su sacrificio, provocando la presencia de carne DFD, también llamado Corte Oscuro (18,19,20). Varios estudios han reportado los siguientes factores intrínsecos como de riesgo a la presencia de carne DFD: origen racial *Bos indicus* (21,22), machos enteros (sexo) (7,23), ganado de mayor peso vivo (24,25), valores bajos en el espesor de grasa subcutánea (4,26) y animales viejos en relación a la edad (27,28). Las condiciones ambientales también influyen en su presencia, temperaturas extremas provocan estrés calórico o por frío (29,30). El manejo inadecuado en el proceso *ante mortem* es uno de los principales factores desencadenantes de la presencia de Corte Oscuro, las distancias largas en el transporte y la poca densidad de espacio influyen en su presencia, así como los tiempos prolongados en los corrales de espera y manga de sacrificio (17,23), el uso de instrumentos estresantes en el arreo hacia el cajón de insensibilizado y una mala efectividad de este último también se han reportado con factores de riesgo (31,32). El proceso *post* sacrificio, también repercute en la presencia de carne DFD, las características fisicoquímicas de la carne dependen directamente de la relación entre la velocidad de disminución del pH en la canal y su temperatura (33,34), esta relación es la responsable directa del pH último y del color de la carne (35), algunas características de la canal como su peso y el espesor de grasa subcutánea influyen en esta relación (36,37).

Estudios como los anteriores se han realizado para establecer asociación entre la presencia de carne DFD y los factores evaluados, sin embargo la mayoría de ellos han establecido esta asociación analizando dichos factores de manera individual y aislada, lo cual no permite analizar el efecto de las variables de manera conjunta ni sus interacciones. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la asociación de factores relacionados con el manejo antes, durante y después del sacrificio, con la presencia de carne DFD.

2. Material y Métodos.

Se evaluaron 27 variables de manejo antes, durante y después del sacrificio y de influencia sobre este manejo (intrínsecas del bovino y ambientales) durante las cuatro

estaciones del año en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal localizada en Cd. Victoria, Tamaulipas, entre noviembre de 2016 y agosto de 2017. Los registros de las variables se tomaron en 16 períodos de 3 días cada uno: a la llegada, en el sacrificio - procesado de la canal, y en el cuarto frío. Los animales eran principalmente cruces comerciales de *Bos taurus*. Los bovinos arribaron desde distintos puntos de la región y en diferentes tipos de vehículos.

Tamaño de muestra.

El número de animales se determinó para un muestreo simple aleatorio por atributos, considerando población finita (38). Los componentes de la fórmula fueron un valor de confianza del 95% ($Z = 1.96$), precisión del 5%, un estimador de varianza igual a 0.25 [$\sigma^2 = \pi(1-\pi)$] y un valor de N generado del centro de sacrificio de los últimos 3 años ($N=38,950$ animal/año). El tamaño de muestra obtenido ($n=394$) fue distribuido proporcionalmente por el número de sacrificio a las estaciones del año: primavera=95, verano=110, otoño=78 e invierno=110. La toma de datos se realizó en el mes intermedio de cada estación.

Recopilación de información.

Variables ante mortem. Al arribo al centro de sacrificio se registró la estación del año, así como las variables propias del animal, de transporte y tipo de compra, además de la temperatura y humedad relativa (termohigrómetro con sonda, Hanna instruments, modelo HI9565). En los corrales de descanso se registró la presencia de lesiones visibles y variables concernientes al espacio y tiempo de permanencia. También se anotó si un animal era separado en corrales individuales por motivos de comportamiento o salud (arisco, montas o lesión). En el día de sacrificio se conformaron registros de manera individual referentes al arreo hacia la manga de sacrificio, tiempo de permanencia en manga y de las condiciones climatológicas para cada bovino antes de entrar al cajón de insensibilizado. La humedad relativa, medida tanto en el desembarque como en la manga de sacrificio, se utilizó para establecer el índice de Temperatura-Humedad Relativa (ITHR), calculado mediante la siguiente fórmula: $ITH = [0.81 \cdot T] + HR/100 \cdot (T - 14.4) + 46.4$,

donde T= Temperatura ambiente (°C) y HR = Humedad relativa (%) (39). La presencia de giba prominente (>15 cm) se utilizó como estimador del origen racial *Bos indicus* (40).

Variables en el insensibilizado. El aturdimiento se realizó mediante una pistola de perno cautivo. La eficacia del insensibilizado se valoró mediante el registro de indicadores de comportamiento en el izado: parpadeo espontáneo, rotación total de globo ocular, respiración rítmica, intento de levantarse, enderezamiento en el colgado y vocalizaciones. Se consideró al animal como mal insensibilizado si presentaba cualquiera de estos signos. También se determinó el intervalo aturdimiento-desangrado, medido desde que el animal colapsaba hasta el degüello (41,42).

Variables en la canal caliente. En la canal caliente se anotó su peso, además, 45 min después del sacrificio se registró por triplicado el valor de pH (pH_{45min}) con el fin de establecer un diferencial (ΔpH) entre el pH_{45min} y el pH último (pHu) valorado 24 h después, los dos pH's fueron medidos con un potenciómetro que contaba con un dispositivo de punción para carne (Hanna instruments, modelo HI99163). También fue registrada la temperatura (por triplicado) de la canal a 45 min., en el músculo *longissimus dorsi* a 5 cm de penetración (termómetro con sonda de penetración, Hanna instruments, modelo HI935007N).

Variables en la canal fría. En el cuarto frío (2°C) 24 horas después, además de los valores de pHu y su diferencial ($\Delta pH = pH_{45min} - pHu$), se registraron los valores de espesor de grasa subcutánea y de los parámetros colorimétricos: L^* = Luminosidad (0 a 100), a^* = índice de rojo (-60 a 60) y b^* = índice de amarillo (-60 a 60). Todos estos registros fueron realizados por triplicado en el área del músculo *longissimus dorsi* entre la décimo primera y décimo segunda costilla de la canal izquierda 30 minutos después de haber realizado el corte. El espesor de la grasa subcutánea se determinó con un vernier de acero inoxidable y los valores de color con un espectrofotómetro Minolta con 5 cm de apertura, iluminante C, Componente Especular Incluido y observador de 2° (Modelo CR-410, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan.). El Chroma (0 a ≈ 85) fue calculado utilizando la

siguiente ecuación: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$. Por último, se registró la densidad de espacio de las canales.

Variables de clasificación. Según los criterios establecidos (43) la canal se clasificó en Oscura, Firme y No Exudativa (DFD) en base a lo siguiente: $pHu \geq 5.8$, $L^* < 40$ y $C^* < 30$. Las canales que presentaron criterios diferentes fueron clasificadas como Normal.

Análisis de las variables.

El contraste entre las clases DFD y normal para las variables estudiadas se realizó en función de la naturaleza de la variable: Se utilizó *t de Student* para las variables cuantitativas continuas, mientras Chi-cuadrada y exacta de Fisher (para frecuencia <5 en una casilla) fueron utilizadas para las variables categóricas. La significancia fue establecida cuando $P < 0.05$.

Estudio de asociación.

La asociación de los factores de estudio con la clasificación de la carne (variable dependiente), de naturaleza binomial (1=DFD, 0=Normal), se realizó aplicando un modelo logístico con múltiples variables independientes. Como primer paso en la utilización del modelo logístico, se incluyeron las variables con significancia estadística ($p < 0.05$) en la comparación entre clases DFD y Normal. Del modelo completo se excluyeron los factores que resultaron no significativos ($p \geq 0.05$) según la prueba de Wald. Esto permitió obtener el modelo final con sus valores de Odds Ratio (OR), Errores Estándar (EE) e Intervalos de confianza (IC 95%). Al modelo final se realizó la prueba de bondad de ajuste de Hosmer-Lemeshow (44,45). Los contrastes entre clases DFD y Normal para las variables estudiadas, así como el análisis del modelo logístico con múltiples variables independientes se realizaron de aplicar los procedimientos TTEST, FREQ y LOGISTIC del paquete estadístico SAS 9.4 (46).

3. Resultados y discusión

La presencia de carne DFD encontrada en este estudio fue de 13.45%, inferior al 38.99% observado en el último estudio realizado en otra región de México (42). Las diferencias

regionales entre la presencia de carne DFD sugieren que los factores que influyen en esta condición son múltiples y propios de cada región (47). Además, se ha observado un aumento de la frecuencia de este problema en otros países de Norteamérica: En EE.UU. pasó de 1.9% en 2005 (48) a 3.2% en 2012 (49) y en Canadá de 1.0% a 1.3% en un lapso de un poco más de una década (50,51), estas tendencias indican que las causas que originan la carne DFD todavía no se conocen por completo.

De las variables incluidas en este estudio, solo diez mostraron significancia en el contraste DFD vs Normal (Cuadros 1 y 2). Sin embargo al realizar el análisis del modelo de regresión logística múltiple, únicamente cuatro de ellas resultaron significativas ($p < 0.05$), las cuales fueron: tiempo en corral, eficacia del aturdimiento, espesor de grasa subcutánea (EGS) y el diferencial de pH (ΔpH) (Cuadro 3). En la prueba de bondad de ajuste de Hosmer-Lemeshow, no se rechazó la hipótesis nula ($p > 0.05$). En el Cuadro 4 se presentan los valores de OR, junto con su intervalo de confianza al 95%.

El tiempo previo al sacrificio que el ganado pasa en los corrales resultó con asociación a la presencia de carne DFD, el valor de OR indica que la posibilidad de que se presente este defecto en las canales es 1.686 veces más grande por cada hora que transcurra. Algunos autores recomiendan un tiempo de reposo de 3 horas como suficiente para que el animal se recupere de los efectos negativos derivados del transporte (17,52), sin embargo, la normatividad de México y de otros países indica que el tiempo de descanso de los animales en el centro de sacrificio debe ser de 12 a 24 horas (53,54), considerando el valor de OR obtenido en este estudio, la aplicación del tiempo máximo de estas normas implica un incremento importante en el riesgo de presencia de carne DFD. Tiempos de espera en el corral mayores de 15.8 h y de hasta 12 h, evaluados en dos estudios diferentes, han resultado en valores de OR de 2.195 y 2.03 respectivamente, estimados al aplicar modelos de regresión logística para canales con $pH \geq 5.8$ (7,55). Los resultados de este trabajo y en los referenciados anteriormente demuestran que a mayor tiempo que el animal pasa en el corral de descanso, más elementos estresantes pueden presentarse, aumentando la posibilidad de mayor frecuencia de carne DFD.

Un mal insensibilizado tiene una posibilidad de 3.492 veces de resultar carne tipo corte oscuro. En el sacrificio del ganado es importante determinar si el animal está insensible luego del disparo, ya que el desangrado y el procesamiento de la canal no pueden comenzar sin haber realizado de manera correcta esta etapa (18,56). Para que la eficacia del insensibilizado en el izado sea reconocida como “aceptable”, debe presentarse un porcentaje no mayor al 0.2% de animales con signos de sensibilidad (32). En este estudio, el porcentaje de animales con signos de sensibilidad en el izado fue de 31.7%, indicando que, además de afectar negativamente la calidad de la carne, existe un problema serio de bienestar animal, esta problemática no es exclusiva de la región evaluada, ya que el porcentaje encontrado fue menor al 49.0% reportado en el noroeste de México (57) y al 66.9% en Chile (17). Las causas más frecuentes de la baja eficacia en la insensibilización mediante el disparo con perno retráctil son el mantenimiento inadecuado de la pistola o la fatiga que el operario experimenta debido a una alta velocidad del flujo animal en el cajón de aturdimiento (58). Existen pocos estudios que hayan examinado el impacto de un mal insensibilizado sobre la presencia de carne DFD (31). La mayoría de las investigaciones sobre el insensibilizado en bovinos han puesto mayor atención a las reacciones conductuales y fisiológicas relativas al bienestar animal (32,59). Sin embargo, la calidad de la canal también debe tenerse en cuenta cuando se evalúa la eficacia del aturdimiento (60), ya que el insensibilizado también es parte del proceso de sacrificio, y por lo tanto, puede afectar la calidad del producto final (61).

El espesor de la grasa subcutánea (EGS), en su naturaleza continua, presentó una relación inversamente proporcional sobre la presencia de carne DFD. El valor de OR 0.152 indica que es un factor protector. Su inverso indica que por cada cm de aumento en EGS, existe una posibilidad de 6.579 más grande de resultar carne Normal. Este resultado fue similar al encontrado en otra investigación que aplicó el sistema de clasificación de grado de engrasamiento de canal EUROP, donde se observó un OR de 0.177 para canales con buen grado de engrasamiento (7). Se estima que canales con un EGS menor a 0.76 cm tienen una mayor probabilidad de presentar carne DFD (4). Canales con mayor engrasamiento mantienen una temperatura similar al animal vivo por más tiempo cuando son introducidas al cuarto frío (26), acelerando el metabolismo

muscular y presentando una mayor caída de pH en el proceso de instauración del *rigor mortis* (62).

La velocidad de disminución del pH en el músculo *post rigor* tiene influencia directa sobre el pHu y el color de las canales. La relación observada entre el ΔpH y la presencia de carne DFD resultó inversamente proporcional, con un valor de 0.011 para el OR. Su inverso indica que por cada incremento en una unidad, la posibilidad de que se presente carne Normal será 90.9 veces más grande. Existe una relación directa entre la velocidad de descenso del pH y la temperatura de la canal (35,63). Canales con temperaturas más altas en el período pre-rigor generan valores de ΔpH más altos, por lo tanto, con menor posibilidad de resultar en corte oscuro (36).

4. Conclusión.

La presencia de carne DFD en este estudio, 13.45%, resultó en asociación con factores presentes en todo el proceso de sacrificio, desde el manejo que se da antes y durante el sacrificio (tiempo en corral e insensibilizado), así como intrínsecas del bovino (EGS) y del metabolismo *post mortem* (ΔpH). Por lo tanto, el desarrollo de programas preventivos para reducir este problema debe incluir a todas las variables que componen el proceso de sacrificio y de la manipulación de la canal, para determinar cuáles de ellas realmente favorecen la frecuencia de carne DFD y con ello contribuir al control o disminución de pérdidas económicas asociadas a este problema.

Cuadros

Cuadro 1. Media y Error Estándar (EE) de las variables cuantitativas según la clasificación de la carne.

Variable	DFD		Normal		Valor p
	Media	EE	Media	EE	
Desembarque					
Temperatura (°C)	30.4	1.00	32.5	0.28	0.010
Índice HR– T	77.1	10.5	79.7	0.28	0.934
Transporte					
Densidad de espacio (m²/animal)	3.1	0.29	2.6	0.09	0.061
Corral de descanso					
Densidad de espacio (m²/animal)	9.6	1.17	11.5	0.55	0.214
Tiempo (h)	15.4	0.23	14.8	0.10	0.021
Manga de sacrificio					
N° de personas en arreo	1.5	0.13	1.7	0.07	0.449
Temperatura (°C)	23.6	0.80	25.4	0.24	0.009
Índice HR– T	71.2	1.12	74.1	0.33	0.002
Tiempo (min)	68.2	6.47	54.4	2.18	0.023
Sacrificio					
Intervalo aturdimiento –desangrado (seg)	179.8	10.04	147.7	4.49	0.008
Canal caliente					
Peso (kg)	284.7	10.32	295.8	3.78	0.289
pH _{45min}	7.0	0.03	6.9	0.02	0.131
Temperatura (°C) _{45min}	33.2	0.31	33.5	0.11	0.351
Canal fría					
ΔpH	0.95	0.04	1.45	0.02	< 0.001
Espesor de grasa (cm)	0.40	0.04	0.55	0.02	0.007
Densidad de espacio cuarto frío (m²/canal)	2.3	0.06	2.2	0.03	0.667

Valor p de la prueba *t student*

Cuadro 2.- Frecuencia de las variables categóricas según la clasificación de la carne.

Variable	DFD		Normal		Valor p
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	
Animal					
Sexo					0.186 ⁽¹⁾
Macho	11	20.00	44	80.00	
Hembra	42	12.39	297	87.61	
Giba					1.00 ⁽²⁾
Si	1	11.11	8	88.89	
No	52	13.51	333	86.49	
Origen					
Tipo de compra					0.895 ⁽¹⁾
Subasta	18	14.17	109	85.83	
Granja	35	13.11	232	86.89	
Desembarque					
Época					0.097 ⁽¹⁾
Primavera	6	6.32	89	93.68	
Verano	15	13.51	96	86.49	
Otoño	14	17.95	64	82.05	
Invierno	18	16.36	92	83.64	
Transporte					
Distancia					0.048 ⁽¹⁾
>60 min	9	25.71	26	74.29	
30-60 min	6	8.45	65	91.55	
<30 min	38	13.19	250	86.81	
Tipo de transporte					0.191 ⁽¹⁾
<2m largo	24	13.87	149	86.13	
2-4 m largo	6	25.00	18	75.00	
>4m largo	23	11.68	174	88.32	
Corrales de descanso					
Separado					0.741 ⁽²⁾
Si	3	15.00	17	85.00	
No	50	13.37	324	86.63	
Lesiones visibles					0.293 ⁽²⁾
Si	2	25.00	6	75.00	
No	51	13.21	335	86.79	

Valor p de la prueba χ^2 (1) y exacta de Fisher (2)

Continuación...

Cuadro 2.- Frecuencia de las variables categóricas según la clasificación de la carne.

Variable	DFD		Normal		Valor p
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	
Manga de sacrificio					
Intrumento de arreo					0.070 ⁽¹⁾
Picana	25	15.92	132	84.08	
Otro	6	6.38	88	93.62	
Ninguno	22	15.38	121	84.62	
Caídas					0.089 ⁽²⁾
Si	2	50.00	2	50.00	
No	51	13.08	339	86.92	
Sacrificio					
Eficacia en aturdimiento					< 0.001 ⁽¹⁾
Correcto	25	9.29	244	90.71	
Incorrecto	28	22.40	97	77.60	

Valor p de la prueba χ^2 (1) y exacta de Fisher (2)

Cuadro 3.- Coeficiente, error estándar y valor de p de las variables incluidas en el modelo logístico múltiple.

Variable	Coeficiente	Error estándar	Valor de p
Tiempo en corral (h)	0.522	0.126	<0.0001
Eficacia de aturdimiento	1.251	0.375	0.0009
Espesor de grasa subcutánea (cm)	-1.883	0.636	0.0031
Diferencial de pH [Δ pH]	-4.554	0.695	<0.0001
Constante	-5.308		

Cuadro 4.- Odds ratio e intervalo de confianza de las variables incluidas en el modelo logístico.

Variable	Odds Ratio	IC 95%
Tiempo en corral (h)	1.686	1.317 a 2.159
Aturdimiento incorrecto	3.492	1.674 a 7.287
Espesor de grasa subcutánea (cm)	0.152	0.044 a 0.529
Diferencial de pH [Δ pH]	0.011	0.003 a 0.041

Referencias

1. Alende M, Volpi-Lagrecia G, Pordomingo AJ, Pighín D, Grigioni G, Carduza F, *et al.* Efectos del tiempo de transporte, espera pre-faena y maduración en novillos sobre indicadores de estrés, calidad instrumental y sensorial de la carne. Arch Med Vet. 2014;(46): 217-227
2. Adzitey F, Nurul H. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences - a mini review. Int Food Res J. 2011;(18): 11-20
3. Lawrie RA, Ledward DA. Lawrie's meat science. 7th edition. Abington Hall, England. Published by Woodhead Publishing Limited; 2006
4. Page JK, Wulf DM, Schwotzer TR. A survey of beef muscle color and pH. J Anim Sci. 2001;79(3): 678-687
5. Hughes J, Clarke F, Purslow P, Warner R. High pH in beef *longissimus thoracis* reduces muscle fibre transverse shrinkage and light scattering which contributes to the dark colour. Food Res Int. 2017;(101): 228-238
6. Sawyer J, Apple J, Johnson Z, Baublits R, Yancey J. Fresh and cooked color of darkcutting beef can be altered by *post-rigor* enhancement with lactic acid. Meat Sci. 2009;83(2): 263-270
7. Mach N, Bach A, Velarde A, Devant M. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. Meat Sci. 2008;(78): 232–238
8. Viljoen HF, de Kock HL, Webb EC. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. Meat Sci. 2001;(61): 181–185

9. Leyva-García IA, Figueroa-Saavedra F, Sánchez-López E, Pérez-Linares C, Barreras-Serrano A. Economic impact of DFD beef in a Federal Inspection Type (TIF) slaughterhouse. *Arch Med Vet.* 2012;(44): 39-42
10. Scanga JA, Belk KE, Tatum JD, Grandin T, Smith GC. Factors Contributing to the Incidence of Dark Cutting Beef. *J Anim Sci.* 1998;(76): 388–395
11. Apple JK, Kegley EB, Galloway DL, Wistuba TJ, Rakes LK. Duration of restraint and isolation stress as a model to study the dark-cutting condition in cattle. *J Anim Sci.* 2005;(83): 1202-1214
12. Zhang SX, Farouk MM, Young OA, Wieliezko KJ, Podmore C. Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Sci.* 2005;(69): 765–772
13. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of *postmortem* biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 2005;(71): 194–204
14. Wulf DM, Emmett RS, Leheska JM, Moeller SJ. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *J Anim Sci.* 2002;(80): 1895–1903
15. Honikel KO, Kim CJ, Hamm R, Roncales P. Sarcomere shortening of pre-rigor muscles and its influence on drip loss. *Meat Sci.* 1986;(16): 267–282
16. Ferguson DM, Warner RD. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants?. *Meat Sci.* 2008;(80): 12–19
17. Gallo C, Teuber M, Cartes M, Uribe H, Grandin T. Improvements in stunning of cattle with a pneumatic stunner after changes in equipment and employee training. *Arch Med Vet.* 2003;(35),159-170
18. Chambers PG, Grandin T. Guidelines for humane handling, transport and slaughter of livestock. *FAO-HIS.* 2001
19. Lahucky R, Palanska O, Mojto J, Zaujec K, Huba J. Effect of Preslaughter Handling on muscle glycogen level and selected meat quality traits in beef. *Meat Sci.* 1998;(50): 389-393
20. Tarrant PV. Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef – A Review. *Irish J Food Sci Tec.* 1989;13(1), 1-21

21. Curley KO, Paschal JC, Welsh TH, Randel RD. Technical note: Exit velocity as a measure of cattle temperament is repeatable and associated with serum concentration of cortisol in Brahman bulls. *J Anim Sci.* 2006;(84): 3100-3103
22. King DA, Schuehle CE, Randel RD, Welsh TH, Oliphint RA, Baird BE, *et al.* Influence of animal temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Meat Sci.* 2006;74(3): 546-556
23. Jones SDM, Tong KW. Factors influencing the commercial incidence of dark cutting beef. *Can J Anim Sci.* 1989;(69): 649-654
24. Mahmood S, Basarab JA, Dixon WT, Bruce HL. Relationship between phenotype, carcass characteristics and the incidence of dark cutting in heifers. *Meat Sci.* 2016;(121): 261–271
25. Okeudo NJ, Moss BW. Production performance and meat quality characteristics of sheep comprising four sex-types over a range of slaughter weights produced following commercial practice. *Meat Sci.* 2008;80(2): 522-528
26. Sañudo C, Monson F, Campo MM, Beltran JA, Bello JM. Variacion del pH en canales comerciales de cordero. *ITEA.* 2005;26(II): 703-705
27. Hopkins DL, Stanley DF, Martin LC, Toohey ES, Gilmour AR. Genotype and age effects on sheep meat production. 3. Meat quality. *Aus J Exp Agric,* 2007;47(10): 1155-1164
28. Vestergaard M, Oksbjerg N, Henckel P. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of *semitendinosus*, *longissimus dorsi* and *supraspinatus* muscles of young bulls. *Meat Sci.* 2000;54(2): 177-185
29. Kadim IT, Mahgoub O, Al-Ajmi DS, Al-Maqbaly, RS, Al-Mugheiry SM, Bartolome DY. The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef m. *longissimus thoracis*. *Meat Sci.* 2004;66(4): 831-836
30. Kreikemeier KK, Unruh JA, Eck TP. Factors affecting the occurrence of dark-cutting beef and selected carcass traits in finished beef cattle. *J Anim Sci.* 1998;76(2): 388-395

31. Önenç A, Kaya A. The effects of electrical stunning and percussive captive bolt stunning on meat quality of cattle processed by Turkish slaughter procedures. *Meat Sci.* 2004;66(4): 809-815
32. Grandin T. Return sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. *J Am Vet Med Assoc.* 2002;(221): 1258-1261
33. Marsh BB, Ringkob TP, Russell RL, Swartz DR, Pagel LA. Effects of Early-*postmortem* Glycolytic Rate on Beef Tenderness. *Meat Sci.* 1987;(21): 241-248
34. Melody JL, Lonergan SM, Rowe LJ, Huiatt TW, Mayes MS, Huff-Lonergan E. Early *postmortem* biochemical factors influence tenderness and water- holding capacity of three porcine muscles. *J Anim Sci.* 2004;(82): 1195–1205
35. Kim YHB, Warner RD, Rosenvol K. Influence of high *pre-rigor* temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Anim Prod Sci.* 2014;(54): 414-421
36. Hargreaves A, Barrales L, Peña I, Larraín R, Zamorano L. Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de bovinos. *Cien Inv Agr.* 2004;31(3): 155-166
37. Lonergan HE, Zhang W, Lonergan SM. Biochemistry of *postmortem* muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci.* 2010;86(1): 184-195
38. Daniel WW, Cross CL. *Biostatistics: A Foundation for Analysis in the Health Sciences.* Tenth edition. New York, NY, USA; 2013
39. Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci.* 1999;77(2): 10–20
40. Rubio MS, Braña D, Méndez D, Torrescano GR, Sánchez A, Pérez C, et al. Guía práctica para la estandarización y evaluación de canales bovinas mexicanas. 1ª edición. DF, Mex. SAGARPA-CONACYT-COFUPRO; 2013
41. FAO. Manual de buenas prácticas para la industria de la carne. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia; 2007
42. HSA. Aturdimiento de animales por perno cautivo. Humane Slaughter Association. Wheathampstead, Herts. AL4 8AN, UK; 2016

43. Pérez-Linares C, Barreras A, Sánchez E, Herrera B, Figueroa-Saavedra F. The effect of changing the pre-slaughter handling on bovine cattle DFD meat. *Rev MVZ Córdoba*. 2015;20(3): 4688-4697
44. Lattin J, Green PE, Carroll D. 2002. *Analyzing Multivariate Data*. Pacific Grove, CA, USA. Brooks/Cole Editor; 2003
45. Hosmer DW, Lemeshow S. *Applied logistic regression*. 2nd edition. New York, NY, USA. Wiley-Interscience publication; 2000
46. SAS Inc. *Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures*. 2nd edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA: 2013
47. Mahmood S, Basarab JA., Dixon WT, Bruce HL. Can potential for dark cutting be predicted by phenotype? Relationship between sex, carcass characteristics and the incidence of dark cutting beef. *Can J Anim Sci*. 2016; (96): 19–31
48. Garcia LG, Nicholson KL, Hoffman TW, Lawrence TE, Hale DS, Griffin DB, *et al*. National Beef Quality Audit-2005: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *J Anim Sci*. 2008;(86): 3533- 43
49. Moore MC, Gray GD, Hale DS, Kerth CR, Griffin DB, Savell JW, *et al*. National Beef Quality Audit–2011: In-plant survey of targeted carcass characteristics related to quality, quantity, value, and marketing of fed steers and heifers. *J Anim Sci*. 2012; 90(13): 5143-5151
50. Donkersgoed JV, Jewison G, Bygrove S, Gillis K, Malchow D, McLeod G. Canadian beef quality audit 1998-99. *Can Vet J*. 2001;(42): 121-126
51. Beef Cattle Research Council. National beef quality audit 2010/11 plant carcass audit. Canadian Cattlemen’s Association; 2013
52. Tadich N, Gallo C, Echeverría R, Van Schaik G. Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Arch Med Vet*. 2003;35 (2): 171-185
53. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. *Diario Oficial de la Federación*; 2015

54. MINAGRI, Reglamento sobre estructura y funcionamiento de mataderos, establecimientos frigoríficos, cámaras frigoríficas y plantas de desposte y fija equipamiento mínimo para tales establecimientos. Diario Oficial. Ministerio de Agricultura de Chile; 2009
55. Amtmann VA, Gallo C, Van-Schaik G, Tadich N. Relaciones entre el manejo *ante-mortem*, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. Arch Med Vet. 2006;38(3): 259-264
56. Grandin T. Recommended animal handling guidelines & audit guide: a systematic approach to animal welfare. American Meat Institute Foundation; 2013
57. Miranda-de-la-Lama GC, Leyva-García IG, Barreras-Serrano A, Pérez-Linares C, Sánchez-López E, Figueroa-Saavedra F, *et al.* Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. Trop Anim Health Prod. 2012;(44): 497–504
58. Brown SN, Bevis EA, Warriss PD. An estimate of the incidence of dark cutting beef in the United Kingdom. Meat Sci. 1990;27(3), 249-258
59. Muñoz D, Strappini A, Gallo C. Animal welfare indicators to detect problems in the cattle stunning box. Arch Med Vet. 2012;(44): 297-302
60. Velarde A, Gispert M, Diestre A, Manteca X. Effect of electrical stunning on meat and carcass quality in lambs. Meat Sci. 2003;63(1): 35-38
61. Gregory NG, Animal welfare and meat science. New York, NY, USA. Cabi Publishing; 1998
62. Murray AC. Factors affecting beef color at time of grading. Can J Anim Sci. 1989;(69): 347-355
63. Warris PD. Ciencia de la carne. 1a edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia; 2003

ARTÍCULO II

An evaluation of environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a Federal Inspected Type slaughter plant

Jorge Loredó-Ostia^{a,b}, Eduardo Sánchez-López^a, Alberto Barreras-Serrano^a, Fernando Figueroa-Saavedra^a, Cristina Pérez-Linares^a, Miguel Ruiz-Albarrán^b, Miguel Ángel Domínguez-Muñoz^b.

Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, México.

Aceptado en:

Meat Science

Volume 150, April 2019, Pages 85-92

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.007>

a. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California.

b. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas.



Contents lists available at ScienceDirect

Meat Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/meatsci

An evaluation of environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a Federal Inspected Type slaughter plant

Jorge Loredó-Ostí^{a,b}, Eduardo Sánchez-López^a, Alberto Barreras-Serrano^{a,*},
Fernando Figueroa-Saavedra^a, Cristina Pérez-Linares^a, Miguel Ruiz-Albarrán^b,
Miguel Ángel Domínguez-Muñoz^b

^a Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Av. Álvaro Obregón s/n, Colonia Nueva, C.P., 21100 Mexicali, Baja California, Mexico

^b Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Carretera Victoria-Mante km 5, C.P., 87000 Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico

ARTICLE INFO

Keywords:

Dark-cutting beef
Risk
Management factors

ABSTRACT

The objective was to determine the risk factors associated to dark-cutting in bovine carcasses. The study was conducted at a Federal Inspection abattoir located in northeastern Mexico. A random sample of 394 animals at slaughter was used. A total of 26 explanatory variables were evaluated; the analysis included environmental, animal-specific, and management factors both at pre- and post-slaughter periods. Only four variables were statistically significant within the final logistic regression model ($P < .001$). The frequency of dark-cutting carcasses was 13.45%. Lairage time was directly proportional to the percentage of risk for dark-cutting beef. Improper desensitization also increased the frequency of carcasses with this anomaly. Backfat thickness and the 24-h pH differential of the carcasses were inversely proportional to the risk for dark-cutting beef. An interesting finding was that risk factors for DFD meat are present in all stages of the slaughter process and thus to effectively address this problem an integral evaluation is needed throughout the slaughter process.

1. Introduction

The growing demand for proteins of animal origin has led to a considerable increase in the number of animals slaughtered worldwide (Blokhuis, Keeling, Gavinelli, & Serratos, 2008). As a result of this larger quantities of cattle are handled in a shorter amount of time negatively affecting animal welfare and meat quality (Adzitey & Nurul, 2011; Malmfors & Wiklund, 1996). When inadequate animal management is used before slaughter, muscle glycogen is consumed due to the stress to which it is subjected (Lahucky, Palanska, Mojto, Zaujec, & Huba, 1998; Lawrie & Ledward, 2006) this leads to metabolic and hormonal changes in the muscle of the live animal, altering color (dark meat) and pH (> 5.8) in the *post-mortem* muscle due to a low production of lactic acid in the carcass, a defect known as dark-cutting beef (Hughes, Clarke, Purslow, & Warner, 2017; Jacob, Pethick, & Chapman, 2005). As a consequence, meat shelf life is reduced, and meat characteristics become less acceptable to the consumer (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005; Viljoen, de Kock, & Webb, 2001; Wulf, Emmett, Leheska, & Moeller, 2002), causing economic loss to producers

(Holdstock et al., 2014; Leyva-García, Figueroa-Saavedra, Sánchez-López, Pérez-Linares, & Barreras-Serrano, 2012; Scanga, Belk, Tatum, Grandin, & Smith, 1998).

Dark-cutting beef, also called Dark, Firm and Dry (DFD) meat, is associated with long transport distances for cattle and reduced availability of space in the vehicles where the cattle is transported (Campo, Brito, Soares De Lima, Hernandez, & Montossi, 2010; Ferreira et al., 2006), type of cattle acquisition (Ferguson, Warner, Walker, & Knee, 2007; Stevenson, Knee, Philpotts, & Warner, 1996), as well as the presence of stress elements (unknown noises and smells, mixing animals, mounts, new social hierarchies) in waiting pens and the corridors where the animals are steered to the stunning box (Arik & Karaca, 2017; Chen, Arsenault, Napper, & Griebel, 2015; Ferguson & Warner, 2008; Llewellyn, Border, & Allerton, 2002). The use of harmful instruments in the drive to the stunning box has also been reported as a risk factor (Perez-Linares, Figueroa-Saavedra, & Barreras-Serrano, 2006; Sotelo, Perez-Linares, Figueroa-Saavedra, Barreras-Serrano, & Sanchez-Lopez, 2008). Improper desensitization increases the likelihood of the presence of DFD meat, given that the animal is able to perceive pain during

* Corresponding author.

E-mail address: abarreras@uabc.edu.mx (A. Barreras-Serrano).

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.007>

Received 4 September 2018; Received in revised form 11 November 2018; Accepted 15 December 2018

Available online 16 December 2018

0309-1740/ © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

exsanguination (Chulayo, Bradley, & Muchenje, 2016; Önenç & Kaya, 2004). Extreme environmental conditions have also been associated to the presence of this quality problem (Gregory, 2010; Kadim et al., 2004; Knee, Cummins, Walker, & Warner, 2004).

Some intrinsic characteristics (racial origin, sex, age, weight) contribute as predisposing factors to stress and therefore to the presence of DFD meat; *Bos indicus* cattle have been associated to DFD due to their nervous temperament (O'Neill, Webb, Frylinck, & Strydom, 2006; Voisin, Grandin, O'Connor, Tatum, & Deesing, 1997). Intact males are more exposed to stressful conditions such as fights and other social behavior than females or castrated males (Jones & Tong, 1989; Mach, Bach, Velarde, & Devant, 2008). Older animals and those with higher body weight have presented darker carcasses (Arik & Karaca, 2017; Hopkins, Stanley, Martin, Toohey, & Gilmour, 2007; Mahmood, Basarab, Dixon, & Bruce, 2016a).

The post-slaughter stage can also be associated to the presence of dark-cutting carcasses. The muscle-to-meat conversion process is influenced by the relationship between the rate of pH decrease in the carcass and its temperature (Marsh, Ringkob, Russell, Swartz, & Pagel, 1987; Melody et al., 2004). This relationship is directly responsible for the meat's final pH and color (Kim, Warner, & Rosenvol, 2014; Page, Wulf, & Schwotzer, 2001) the problem has been also related to certain carcass characteristics, such as its weight and the backfat thickness, as well as the space allowance for carcasses in the cold room (Hargreaves, Barrales, Peña, Larraín, & Zamorano, 2004; Lonergan, Zhang, & Lonergan, 2010; McGilchrist, Alston, Gardner, Thomson, & Pethick, 2012).

Studies such as those mentioned above have been carried out to establish an association between the presence of DFD meat and the factors evaluated; however most of them have examined this relationship by evaluating the factors in an individual and isolated manner, which does not allow to analyze the joint effect of factors or their interactions, as well as establishing any increase in the risk for the presence of DFD meat. Therefore, the objective of this study was to evaluate, by means of a logistic regression analysis, the association between environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors with the presence of dark-cutting meat in bovine carcasses.

2. Materials and methods

The study was performed between November 2016 and August 2017 in a slaughter plant located in northeastern Mexico. The study was evaluated and approved by the Veterinary School Bioethics Committee.

In Mexico slaughterhouses are regulated either by municipal authorities or by the federal government. If the latter is the case, the plant is classified as Federal inspected type (FIT) and therefore must apply a standardized slaughter procedure that is federal mandated, follow stricter regulation and is routinely inspected by the authorities. Because of this and to support that the findings of the study may be extrapolated to other FIT abattoir located in the region, the slaughter plant selected to carry out this study was a Federal inspected type.

A total of twenty six variables that may affect carcass quality were evaluated during the four seasons of the year. These were management variables before, during and after slaughter, variables intrinsic to the animal and environmental variables. The animals were mostly commercial crosses of *Bos Taurus* x *Bos indicus*. The cattle arrived from diverse zones of the region and in different types of vehicles.

2.1. Ante-mortem management variables

Upon arrival at the abattoir, the transport procedure was assessed through an interview with the driver and by taking measurements of the vehicle's trailer. The place where the animal was purchased, weather conditions and the intrinsic factors of the cattle were also evaluated. The variables studied were: type of vehicle according to its length (< 2 m, 2–4 m, trailer or cage > 4 m) space allowance (m²/

animal), distance traveled (< 30 min, 30–60 min, > 60 min), form of acquisition (farm or auction in livestock market), sex (F, M), presence of a noticeable hump (> 15 cm) as an indicator of the animal *Bos indicus* racial status (yes, no), ambient temperature (°C) and the Temperature-Relative Humidity Index (TRHI) using a thermohygrometer (model HI9565, Hanna Instruments). Later, in the resting pens, management practices and health status of the animals were evaluated. The variables registered were: space allowance (m²/animal), time of permanence (hrs.), presence of visible lesions (yes, no), as well as separation of animals in individual pens for the following reasons: aggressiveness, mounting or injuries (separated, mixed).

On the day of slaughter the following information was registered for each animal, drive time to the stunning box, characteristics of the handling in the corridor that leads to the stunning box, and present weather conditions before entering the stunning box. The variables analyzed were: number of people and type of instrument used during the drive, number of falls, time spent in the passageway (min), temperature (°C) and TRHI. The TRHI value was calculated using the following formula: $TRHI = [0.81 * T] + RH / 100 * (T - 14.4) + 46.4$, where T = Ambient temperature (°C) and RH = Relative humidity (%) (Hahn, 1999).

2.2. Animal stunning variables

Stunning was performed mechanically using a penetrating captive bolt gun. The effectiveness of desensitization was assessed by registering any of the following signs of regained consciousness in the hoist: spontaneous blinking, total rotation of the eyeball, rhythmic breathing, attempts to stand up, straightening while in hanging, or vocalizations. If any of these signs in an animal was present, desensitization was considered inadequate. The stunning-to-exsanguination interval was also determined, by recording the time from when the animal collapsed to when exsanguination began (FAO, 2007; HSA, 2016).

2.3. Post-slaughter handling variables

During the post slaughter period the weight of the hot carcass (kg) was registered and 45 min after slaughter the pH value (pH_{45min}) was recorded in triplicate in order to establish a differential (ΔpH) between the pH_{45min} and the ultimate pH (pHu) measured 24 h later. Both pH values were measured with a pH meter that had a meat puncture device at a depth of 4 cm (Hanna instruments, model HI99163) calibrated before use with standard buffers of pH 7 and 4. ΔpH (pHu–pH_{45min}) was included in the model to evaluate the possible interactions between this variable with the other environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter variables, as well as to better understand how the presence of DFD behaves as a result of changes in pH, (Park, Lee, & Hwang, 2007). After one day in cold storage (2 °C), in addition to the values of pHu and its differential (ΔpH), backfat thickness (cm) and colorimetric parameters of CIELAB color space were recorded: L* = Luminosity (0 to 100), a* = index of red (–60 to 60), b* = index of yellow (–60 to 60) and C* = Chroma (0 to ≈ 85) which was calculated using the following equation: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$. The color values was determined with a Minolta spectrophotometer with 5 cm opening, C illuminant, Specular Component Included and 2° observatory (Model CR-410, Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan.), and backfat thickness (BFT) was determined with a stainless steel caliper. All these records were made in triplicate on the cross section of the *longissimus dorsi* muscle exposed by ribbing between the 11th and 12th ribs of the left half of the carcass, with each measurement performed at a different portion of the muscle. Finally, the space allowance of the carcasses (m²/carcass) in cold storage was recorded.

2.4. Meat classification variables

According to established criteria (Perez-Linares, Barreras, Sánchez, Herrera, & Figueroa-Saavedra, 2015) a carcass was classified as dark cut based on the following criteria: pHu $\geq$ 5.8, L* $<$ 40 and C* $<$ 30; otherwise it was classified as normal.

2.5. Sample size

The number of animals to be sampled was determined for a simple random sampling by attributes, considering a finite population (Daniel & Cross, 2013). The formula considered a confidence level of 95% ($Z = 1.96$), precision of 5%, an estimator of variance equal to 0.25 [$\sigma^2 = \pi(1-\pi)$] and a value of $N = 38,950$ animals/year (based on the cattle slaughtered at the abattoir in the last 3 years). The sample size obtained ($n = 394$) was distributed proportionally according to the percentage of cattle slaughtered in each season of the year: spring = 95, summer = 110, autumn = 78 and winter = 110. The data was collected during the intermediate month of each season.

2.5.1. Statistical analysis.

2.5.1. Association estimation

The dark meat variable was analyzed as a binomial response dependent variable with values of 1 (DFD) and 0 (Normal) using the following multiple logistic regression model:

$$\Pi_i = \frac{1}{1 + e^{\left[-\left(\alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} \right) \right]}}$$

where Π_i is the probability that DFD meat occurs in case i , k is the number of explanatory variables, α is a coefficient, β_j is the coefficient of the explanatory variable and X_{ji} is the value of the explanatory variable j in the i^{th} case (Vittinghoff, Glidden, Shiboski, & McCulloch, 2011).

The X_{ji} variables were either continuous, categorical or of dichotomous in nature.

In order to explore the data, individual logistic regressions were performed for each predictor variable and the dependent variable. A Chi-squared test was used to assess the independence between the frequency distribution of the variable DFD and the independent variable classes. All the explanatory variables that showed statistical significance ($P < .05$) in the previous step were included in a multinomial logistic model which also included their interactions. Subsequently, any factors and their interactions that were not significant to the Wald chi-square statistic were excluded from the full model ($P \geq .05$). This allowed obtaining the final model with its respective coefficients, standard errors and p values. The Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test was performed on the final model (Hosmer & Lemeshow, 2000). The data were analyzed using the LOGISTIC procedures of SAS v. 9.4 (SAS Inst. Inc., 2013).

2.5.2. Graphs of mathematical model

The medians of the selected variables were used for the graphic representation of the resulting model. The probability of presenting DFD meat was established as a percentage on the vertical axis. The n^{th} percentiles (where $n = 2.5, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95$ and 97.5) were used for the scale on the horizontal axis in each predictive variable of a continuous quantitative nature. Values of 1 and 2 were used for dichotomous qualitative variables. Graphs were made using MS Excel program v. 2013.

3. Results

It was estimated that the incidence of DFD meat in the population considered in this study was 13.45%.

Table 1

Mean, standard deviation (SD), standard error (SE), minimum and maximum of the independent quantitative variables.

Variable	Mean	SD	SE	Min	Max
Arrival of cattle					
Unloading temperature (°C)	32.2	5.5	0.28	17.0	40.2
TRHI	80.3	5.5	0.28	61.1	84.9
Transport					
Space allowance during transport (m ² /animal)	2.66	1.7	0.09	1.0	10.6
Lairage					
Space allowance in the pen (m ² /animal)	11.2	9.9	0.50	4.4	71.0
Lairage Time (h)	14.9	1.8	0.09	7.0	19.3
Passageway to stunning box					
No. of people in the drive	1.6	1.3	0.07	1.0	7.0
Temperature (°C)	25.1	4.6	0.24	15.0	35.7
TRHI	73.7	6.4	0.33	58.9	84.4
Time in the passageway (min)	56.2	41.5	2.09	2.0	224.0
Slaughter					
Stunning-exsanguination interval (sec)	152.0	82.2	4.14	34.0	535.0
Hot carcass (45 min)					
Hot carcass weight (kg)	294.3	70.5	3.55	139.0	597.0
Hot carcass pH	6.9	0.3	0.02	5.8	7.6
Cold carcass (24 h)					
pH differential (pHu – pH ₄₅ min)	1.38	0.44	0.02	0.03	2.55
Backfat thickness (cm)	0.53	0.39	0.02	0.04	2.17
Space allowance in the cold room (m ² /carcass)	2.25	0.46	0.02	1.59	3.47

The description of the quantitative and categorical explanatory variables is presented in Tables 1 and 2. The observed frequencies of animals with visible lesions, fallen during the drive to the stunning box and of *Bos indicus* racial origin were very low, so these 3 variables did not form part of the group of factors included in the analysis within the multiple logistic model.

Of the 23 remaining variables, only lairage time, stunning efficacy, backfat thickness (BFT) and pH differential (Δ pH) showed an explanatory significance within the final model (Table 3). None of the interactions between these variables or with the other variables showed statistical significance. Of the 4 variables included, 3 are continuous quantitative and only 1 categorical. In the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test of the final model, the null hypothesis was not rejected ($P = .963$).

The results of this study reveal that the probability of obtaining DFD meat has a positive relation with the time spent in the pens prior to slaughter; the minimum and maximum values were 7.0 and 19.3 h, respectively, which correspond to values of 0.12% and 39.7% risk for the presence of dark-cutting beef. The mean time elapsed and its percentage of associated risk were 14.9 h and 7.21%, respectively. Within this period, the probability of risk for dark-cutting beef increased 5.3% for each hour spent in the waiting pens (Fig. 1).

The effectiveness of stunning also exerts significant influence on this quality problem; an improperly desensitized animal has almost 10.0% higher risk for the presence of DFD meat compared to an animal that was stunned correctly (Fig. 2). In this respect, only 68.3% of the cattle evaluated were correctly desensitized; the most common signs of return to consciousness in improperly stunned cattle were spontaneous blinking (14.5%) and rhythmic breathing (13.7%).

Backfat thickness was inversely proportional to the presence of DFD meat, hence as a predictor variable it has a negative coefficient; a centimeter increase (from 0.1 cm to 1.1 cm) in this variable, represents a decrease of $> 10\%$ in the probability of obtaining dark-cutting carcasses (Fig. 3).

The decline in pH of post-rigor muscle showed a direct influence on the pHu and the color of the carcasses. The Δ pH established at 24 h as expected was highly significant in the model; the observed relationship

Table 2
Frequencies of the independent categorical variables.

Variable	Frequency	Percentage
Animal		
Sex		
Male	55	14.0
Female	339	86.0
Presence of hump (> 15 cm)		
Yes	9	2.3
No	385	97.7
Origin		
Form of acquisition		
Saleyard/auction	127	32.2
Farm	267	67.8
Arrival of cattle		
Season		
Spring	95	24.1
Summer	111	28.2
Autumn	78	19.8
Winter	110	27.9
Distance		
Long (> 60 min)	35	8.9
Intermediate (30–60 min)	71	18.0
Short (< 30 min)	288	73.1
Type of vehicle		
Small (< 2 m)	173	43.9
Medium (2–4 m)	24	6.1
Large (> 4 m)	197	50.0
Lairage		
Separate		
Yes	20	5.1
No	374	94.9
Visible lesions		
Yes	8	2.0
No	386	98.0
Passageway to stunning box		
Driving instrument		
Electric prod	157	39.8
Other instrument	94	23.9
None	143	36.3
Falls		
Yes	4	1.0
No	390	99.0
Stunning box		
Effectiveness of stunning		
Yes	269	68.3
No	125	31.7

Table 3
Coefficient, standard error and p value for the variables included in the logistic model.

Variable	Coefficient	Standard error	p Value
Lairage time (h)	0.522	0.126	< 0.0001
Effectiveness of stunning	1.251	0.375	0.0009
Backfat thickness (cm)	−1.883	0.636	0.0031
pH differential [ΔpH]	−4.554	0.695	< 0.0001
Constant	−5.308		

between the Δ pH and the presence of DFD meat was inversely proportional. A Δ pH value of 0.5 units represents a probability of observing dark-cutting carcasses equal to 79.7%, while for a value of 1.5 units, this probability decreases to 4.9% (Fig. 4).

4. Discussion

The presence of DFD meat in different regions of Mexico has been fluctuating in recent years, with percentages of affected carcasses

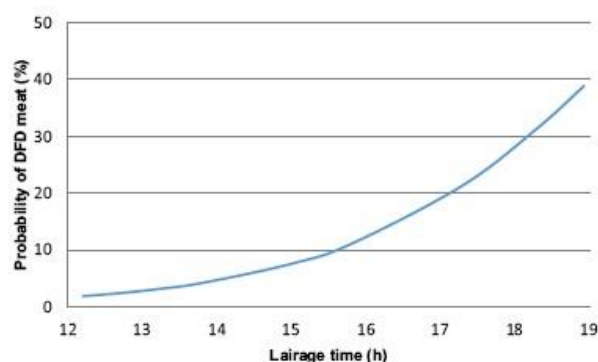


Fig. 1. Probability of presence of DFD meat relative to lairage time (hours).

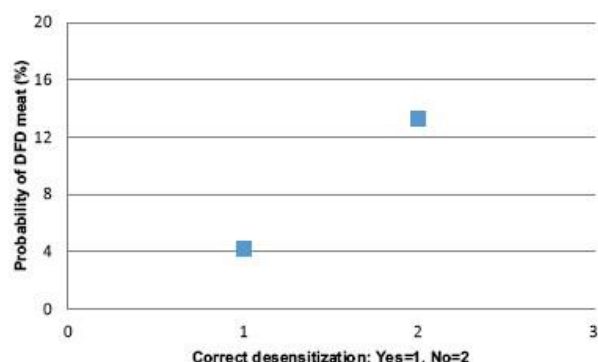


Fig. 2. Probability of presence of DFD meat relative to desensitization effectiveness.

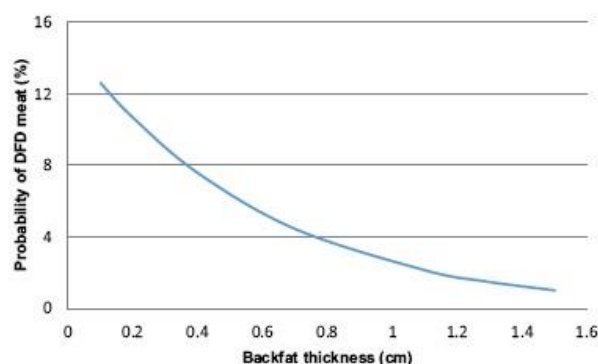


Fig. 3. Probability of presence of DFD meat relative to backfat thickness (cm).

ranging from 8.15 to 47.63 (Leyva-García et al., 2012; Perez-Linares et al., 2006; Sotelo et al., 2008). The frequency found in the present study (13.45%) is at the bottom of this range; however, in general, in the last decade the country has experienced a growing trend for DFD meat. As a region the problem is not only Mexican; in Canada and the US, neighboring countries in North America, the presence of dark-cutting beef has also increased since 2002 (Beef Cattle Research Council, 2013; McKenna et al., 2002; Moore et al., 2012), although the last percentages reported in these two countries have been lower than those observed in Mexico, the present study included. This behavior suggests that handling factors during pre- and post-slaughter periods, as well as environmental and intrinsic factors that influence the presence DFD meat are diverse (Bourguet, Deiss, Cohen-Tannugi, & Terlouw, 2011; Mahmood, Basarab, Dixon, and Bruce (2016b)). In this sense, of the

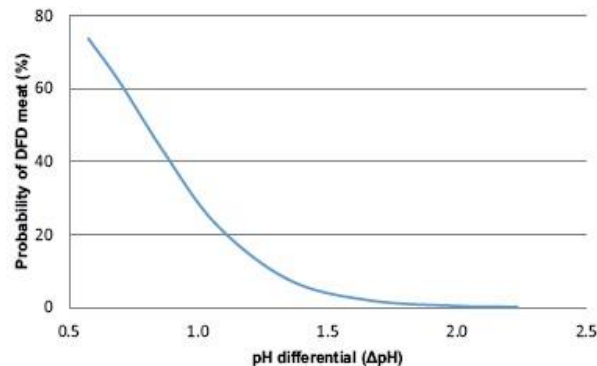


Fig. 4. Probability of presence of DFD meat relative to pH differential (Δ pH).

four predictor variables for the risk for DFD meat included in the mathematical model, two are part of management prior to slaughter (time in the corral and the effect of improper desensitization), another is of an intrinsic nature of cattle (BFT) and the last one, is related to the *post-mortem* period (Δ pH).

A Chilean study that also used a logistic model found that Lairage time, that for each hour spent in the waiting pens the pHu of the carcasses increased by 0.013 units (Gallo, Lizondo, and Knowles (2003)), and in Spain, it was observed that cattle that underwent > 15.8 h of waiting exhibited a higher frequency of carcasses with inadequate pH (Mach et al., 2008). The average time spent in the pens before slaughter in the present study (14.9 h) is similar to the aforementioned time. Several authors indicate that a period of 3.0 h is sufficient for rest, and that longer resting periods are counterproductive (Díaz et al., 2014; Gallo, Lizondo, and Knowles (2003); Tadich, Gallo, Echeverría, & Van Schaik, 2003). Considering these data, a reduction from 14.9 to 3.0 h in the waiting time would mean a decrease from 7.21% to 0.02% in the probability of obtaining carcasses with dark-cutting meat (Fig. 1). The results of this study also agree with the recommendations made by the World Organization for Animal Health (OIE), as they suggest that the slaughter of cattle be carried out as soon as possible once they have been unloaded in the resting pens (OIE, 2017). The association between the risk for DFD meat and the time spent in the pens could be explained by the increase of stressing elements that are present at the time the animal waits before slaughtered (Chen et al., 2015; Njisane & Muchenje, 2017), and also by the fact that during this period the animal is not feed leading to a loss of energy reserves that cause the degradation of liver and muscle glycogen (Ferguson & Warner, 2008; Galyean, Lee, & Hubbert, 1981). In contradiction to the findings in this study, some authors endorse long holding periods in pens prior to slaughter as a measure to reduce the risk for dark-cutting carcasses: Campo et al. (2010) recommend a resting time of > 3 h when the cattle travel for 4 h, and Teke, Akdag, Ekiz, and Ugurlu (2014) suggest that for travels of up to 30 h, the rest period should increase to 72 h. This discrepancy in the literature is common, since the resting time in the waiting pens depends directly on transport practices (Maria, 2008), of which, the distance traveled by livestock has a significant influence (Broom, 2008; Schwarzkopf-Genswein & Grandin, 2014). On the other hand, the availability of space in the waiting pens, evaluated in the present study, did not show statistical significance within the logistic model; this is explained by the fact that 100% of the animals evaluated had an area > 2.8 m²/animal, a value recommended as suitable by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAO, 2001). Likewise, the interaction of the waiting time in pens and the availability of space in them was not significant in the statistical model. This last finding implies two situations: 1) that the number of elements causing stress in these sites increased even when there was no overcrowding of cattle, or also, 2) that the implicit fasting in this period, which is independent of the availability of space, was the main cause of

the association between the *ante-mortem* holding time and the presence of dark-cutting carcasses.

An improper desensitization also increases the likelihood of obtaining DFD meat. In this study, 31.7% of the animals showed signs of regaining consciousness; this figure is much higher than the 0.2% necessary for the efficacy of desensitization prior to hoisting to be recognized as “acceptable” by institutions such as FAO and American Meat Institute Foundation (AMI) (FAO, 2007; Grandin, 2017). This finding indicates that, in addition to adversely affecting meat quality, there is a serious problem of animal welfare in the abattoir evaluated. Other studies in Mexico and Chile have also reported severe problems in the stunning process with 49.0 and 66.9% of animals showing signs of regaining consciousness, respectively (Gallo, Teuber, Cartes, Uribe, & Grandin, 2003; Miranda-De-La-Lama et al., 2012). According to Gallo and Tadich (2005), this is because in Latin America there is little awareness on the part of the staff of avoiding unnecessary suffering during desensitization. The correlation between stunning efficiency and DFD meat frequency found in this study agrees with that reported by Chulayo et al. (2016), who used physiological indicators to assess the animals' stress level during desensitization, finding that as the degree of stress increased, so did the pHu of the carcasses, while the luminosity (L*) of these carcasses decreased; the parameters pHu and L*, are two of the three criteria used to classify the carcasses as dark cut in the present study. There is scarce literature that has attempted to associate stunning efficacy with a captive bolt pistol on the presence of dark-cutting beef (Önenç & Kaya, 2004). The assessments of signs of regaining consciousness, analyzed by several authors, have been used mainly as indicators in animal welfare studies (Grandin, 2002; Gregory, Lee, & Widdicombe, 2007; Terlouw, Bourguet, & Deiss, 2016; Verhoeven, Gerritzen, Hellebrekers, & Kemp, 2015).

The backfat thickness (BFT) present in a bovine carcass depends on factors such as age and feeding system (Dunne, Monahan, O'Mara, & Moloney, 2009; Yang, Brewster, Lanari, & Tume, 2002). In the present study we found evidence of its protective action against the presence of DFD meat under identical cooling conditions; this result coincides with that found in other studies carried out in Europe and Asia, where it was observed that the risk level of carcasses with pH $\geq$ 5.8 decreased as its degree of fattening increased (Mach et al., 2008; Park et al., 2007). In this same context, Page et al. (2001) estimate that carcasses with BFT > 0.76 cm have a lower probability of presenting DFD meat; according to this, the carcasses evaluated in the present study with BFT > 0.76 cm showed a maximum of 4% risk for dark-cutting beef (Fig. 3).

Both the value of the pHu and the speed of pH decline during the transformation of the muscle into meat affect the physicochemical characteristics of the latter (Devine et al., 2002; Lonergan et al., 2010). In this sense, Δ pH in the present study showed a high association with the presence of DFD meat. However, within the logistic model analysis there was no significant interaction between Δ pH and BFT; the latter variable was also included in the final model. This finding contradicts the logic of some results reported in the literature, where it has been suggested that the degree of carcass fatness is associated with the protective action of adipose tissue against cooling (Sañudo, Monson, Campo, Beltran, & Bello, 2005; Savell, Mueller, & Baird, 2005). Carcasses with a higher BFT would exhibit higher temperatures in the process of establishing *rigor mortis*, and therefore, we would expect more acceleration in muscle metabolism, and as a consequence a greater fall in pH (Devine et al., 2002; Murray, 1989). The same argument has been described by some authors in two other variables evaluated in the present study, which are: carcass weight and space allocated per carcass in the cold room (Cliplef, McKay, & Rahnefeld, 1989; Hargreaves et al., 2004; Lonergan et al., 2010). The latter authors explain that carcasses with greater weight and less space availability should have a higher temperature, and therefore, pH should decrease more quickly; however, again, the interactions of Δ pH with carcass weight and space allowance in the cold room, analyzed in the present

study, were not included in the final model. On the contrary, other studies have not been able to clearly establish the role fat cover plays in relation to carcass cooling rate. In a comparison between DFD meat ($\text{pH} > 5.8$) and normal meat ($\text{pH} \leq 5.8$) from Hanwoo cattle, Park et al. (2007) found significant differences between mean carcass BFT in the two groups (0.4 cm vs. 0.8 cm, $P < .001$), but observed no significant differences between temperature values recorded 3 h after slaughter (28.1 vs. 29.9°C, $P > .05$), as well as in the constant of temperature decline of the carcass evaluated 24 h post-mortem (3.7 vs 3.1, $P > .05$), without conclusively specifying how BFT affects the decrease in temperature in the carcass, and how the relationship between these two variables influences the drop in pH. In the present study, there is no clear argument to explain the significance of the relationships between the variables mentioned; perhaps the ΔpH established at 24 h was affected to a lesser extent by the factors associated with the temperature of the carcass, in comparison with other internal variables of greater influence related to post-sacrifice anaerobic glycolysis. One of these variables could be the concentration of muscle glycogen that the animal had just before being slaughtered (not evaluated in this study). This assumption would support the hypothesis, proposed by several authors, that a larger BFT is found in animals fed more energy-rich diets for a sufficient time before slaughter, leading to greater glycogen reserves (Gardner, McIntyre, Tudor, & Pethick, 2001; Knee et al., 2004). Therefore, the decrease in the frequency of dark-cutting meat in carcasses with greater BFT may not be due mainly to a relationship between fat cover and post-mortem carcass temperature, but rather, it is simply due to the fact that cattle with a larger BFT come from farms where they have been administered a higher-energy diet, decreasing the likelihood of a rapid degradation of muscle glycogen derived from ante-mortem stress (Immonen, Ruusunen, Hissa, & Puolanne, 2000; McGilchrist et al., 2012). This results may explain other reported result that correspondingly with the present study found a negative correlation ($P < .05$) between pHu and backfat thickness but no relation between the muscle pHu and its temperature (Page et al., 2001).

None of the environmental variables influenced the presence of DFD meat; this could be explained by the fact that the heat or cold stress suffered by cattle is related to places with extreme climates (Gregory, 2010; Kadim et al., 2004; Sanchez-Sanchez et al., 2013). In this sense, the mean values of temperature and TRHI observed in the corridor approaching the stunning box before desensitization were within the so-called “comfort zone” indicated in the literature (Aggarwal & Upadhyay, 2013; Hahn, Gaughan, Mader, & Eigenberg, 2009) the time that cattle spent in this passageway had no significant effect on the presence of carcasses with this defect, disagreeing with what was stated by Perez-Linares, Figueroa-Saavedra, and Barreras-Serrano (2008). With respect to sex, the literature is confusing; it has been shown that this variable does not influence the presence of DFD meat (Araujo et al., 2016; Page et al., 2001), but there is also the hypothesis that intact males are more susceptible to presenting dark-cutting carcasses compared to females (Bass et al., 2010; Jones & Tong, 1989; Mach et al., 2008), in the present study there was no evidence to corroborate the latter. Transport practices also showed no significant influence within the mathematical model, since transport distances were relatively short compared to studies carried out in other places where an association between these variables was found (Campo et al., 2010; Ferreira et al., 2006; Teke et al., 2014). In addition, in most cases, space allowance in the vehicles was > 1.16 or $1.30 \text{ m}^2/\text{head}$, values recommended by the Farm Animal Welfare Council (FAWC, 1991) and some authors, respectively (Minka & Ayo, 2010; Schwarzkopf-Genswein & Grandin, 2014). Some of the cattle slaughtered were purchase at fairs or livestock auctions, and others were bought directly from farms; the type of purchase showed no statistical association with the quality of the meat, a finding that agrees with that presented in other studies (Ferguson et al., 2007; McPhail, Stark, Ball, & Warner, 2014), but it also contradicts others where it is stated that the frequency of dark-cutting beef is higher in animals that come from saleyard or auction markets, since

there is a greater number of stressors (excessive manipulation, restriction of food and mixture with other animals), in comparison with those that come directly from the farm (Stevenson et al., 1996; Warren, Mandell, & Bateman, 2010). Some researchers have associated the excessive use of the electric cattle prods in the drive to the stunning box with meat quality (Gregory & Temple, 1998; Huertas, Gil, Piaggio, & Van Eerdenburg, 2010), the FAO and the AMI consider “acceptable” up to 25.0% of animals herded using this instrument (FAO, 2007; Grandin, 2017). The frequency of the use of this instrument in the present study was higher than this value, but even so, this management practice did not increase the risk for the presence of carcasses with inadequate pH, coinciding with the results reported by other authors (Warner, Ferguson, Cottrell, & Knee, 2007). Finally, the average time elapsed between stunning and exsanguination was greater than the 60 s recommended by the Humane Slaughter Association (HSA, 2016), evidencing another problem of animal welfare, it is known that long periods between these stages increase the probability that cattle regain consciousness and are able to perceive pain and stress at the moment of slaughter, in turn increasing the risk for carcasses with dark cut (Finnie, Manavis, Blumbergs, & Summersides, 2002; Gregory et al., 2007; Terlouw, Bourguet, Deiss, & Mallet, 2015); however, the interval between stunning and exsanguination was not statistically significant in the logistic model.

On the other hand, the current Federal Norm (NOM-033-SAG/ZOO-2014, 2014) as well as international ones (OIE, 2017) state that before the cattle is slaughtered it has to be handled according to animal welfare guidelines, however in this study an excessive use of the electric rod was found, indicating that more attention is required during the ante-mortem period, so that when the cattle is handled the pertinent norm is applied. It is important that the personnel responsible for the cattle during the pre-slaughter period is trained and certified on the humane handling of cattle (Schwarzkopf-Genswein, Haley, Church, Woods, & O'Byrne, 2008) and also the infrastructure and equipment required during the pre-slaughter period should be improve or updated (Gallo, Teuber, et al., 2003; Grandin, 1998).

5. Conclusion

Only four of the evaluated variables had explanatory value within the mathematical model used to predict the percentage of dark-cutting beef; however, each of them are of different types: the waiting time in the pen is part of the pre slaughter handling, the effect of improper desensitization is part of the stage immediately prior to slaughter, which infers an animal welfare problem in this period. Backfat thickness is intrinsic to cattle and the pH differential is part of the post-mortem metabolism. These results indicate that the factors involved in the risk for DFD meat are present in all stages of the slaughter process, they are multiple and their interrelationship are still not well defined. Therefore, in order to establish a preventive program under commercial conditions, a multi-factor evaluation throughout the process is highly recommended.

Although the study was done in a FIT slaughter plant and it is expected that the slaughter process guidelines support adequate animal welfare results, the findings of this study for the preslaughter period indicate that FIT status does not assure good animal welfare standards and therefore all flaws in the preslaughter process need to be identified and resolve.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Declarations of interest

None.

References

- Adzitey, F., & Nurul, H. (2011). Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences - A mini review. *International Food Research Journal*, 18(1), 11–20.
- Aggarwal, A., & Upadhyay, R. (2013). *Heat stress and animal productivity*. New Delhi, India: Springer (Chapter 1).
- Anaújo, J. P., Lorenzo, J. M., Cerqueira, J., Vazquez, J. A., Pires, P., Cantalapiedra, J., & Franco, D. (2016). Minho breed cattle: Carcass characterisation and meat quality affected by sex and slaughter age. *Animal Production Science*, 56(12), 2086–2092.
- Arik, E., & Karaca, S. (2017). The effect of some pre-slaughter factors on meat quality of bulls slaughtered in a commercial abattoir in Turkey. *Indian Journal of Animal Research*, 51(3), 557–563.
- Bass, P. D., Engle, T. E., Belk, K. E., Chapman, P. L., Archibeque, S. L., Smith, G. C., & Tatum, J. D. (2010). Effects of sex and short-term magnesium supplementation on stress responses and longissimus muscle quality characteristics of crossbred cattle. *Journal of Animal Science*, 111(1), 349–360.
- Beef Cattle Research Council (2013). *National beef quality audit 2010/11 plant carcass audit*. Canadian Cattlemen's Association.
- Blokhuis, H. J., Keeling, L. J., Gavinelli, A., & Serratos, J. (2008). Animal welfare's impact on the food chain. *Trends in Food Science & Technology*, 19, S79–S87.
- Bourguet, C., Deiss, V., Cohen-Tannugi, C., & Terlouw, E. M. C. (2011). Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Science*, 88(1), 158–168.
- Broom, D. M. (2008). The welfare of livestock during road transport. In M. C. Appleby, V. A. Cussen, L. Garcés, M. A. Lambert, & J. Turner (Eds.), *Long distance transport and welfare of farm animals* (pp. 157–181). London: CABI Publishing.
- Campo, M., Brito, G., Soares De Lima, J., Hernandez, P., & Montossi, F. (2010). Finishing diet, temperament and lairage time effects on carcass and meat quality traits in steers. *Meat Science*, 86, 908–914.
- Chen, Y., Arsenault, R., Napper, S., & Griebel, P. (2015). Models and methods to investigate acute stress responses in cattle. *Animals*, 5(4), 1268–1295.
- Chulayo, A. Y., Bradley, G., & Muchenje, V. (2016). Effects of transport distance, lairage time and stunning efficiency on cortisol, glucose, HSPA1A and how they relate with meat quality in cattle. *Meat Science*, 117, 89–96.
- Cleple, R. L., McKay, R. M., & Rahnefeld, G. W. (1989). Effect of weight and fat cover on chilling rate of conventionally processed steer and heifer carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 261–263.
- Daniel, W. W., & Cross, C. L. (2013). *Biostatistics: A foundation for analysis in the health sciences* (10th ed.). New York: NY, USA (Chapter 6).
- Devine, C. E., Payne, S. R., Peachey, B. M., Lowe, T. E., Ingram, J. R., & Cook, C. J. (2002). High and low rigor temperature effects on sheep meat tenderness and ageing. *Meat Science*, 60, 141–146.
- Díaz, M. T., Vieirad, C., Pérez, C., Lauzurica, S., González De Chávarri, E., Sánchez, M., & De la Fuente, J. (2014). Effect of lairage time (0 h, 3 h, 6 h or 12 h) on glycogen content and meat quality parameters in suckling lambs. *Meat Science*, 96(2A), 653–660.
- Dunne, P. G., Monahan, F. J., O'Mara, F. P., & Moloney, A. P. (2009). Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science*, 81, 28–45.
- FAO (2001). *Guidelines for humane handling, transport and slaughter of livestock*. Food and Agriculture Organization of the United Nations - Humane Society International (Chapter 5).
- FAO (2007). *Good practices for the meat industry*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations & Fondation Internationale Carrefour (Section 7).
- FAWC (1991). *Report on the European commission proposal on the transport of animals. Farm animal welfare council*. London, UK: MAFF Publications.
- Ferguson, D. M., & Warner, R. D. (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80, 12–19.
- Ferguson, D. M., Wamer, R. D., Walker, P. J., & Kneeb, B. (2007). Effect of cattle marketing method on beef quality and palatability. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 774–781.
- Ferreira, G. B., Andrade, C. L., Costa, F., Freitas, M. Q., Silva, T. J. P., & Santos, F. (2006). Effects transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. *Meat Science*, 74, 459–466.
- Pinnie, J. W., Manavis, J., Blumbergs, P. C., & Summersides, G. E. (2002). Brain damage in sheep from penetrating captive bolt stunning. *Australian Veterinary Journal*, 80(1–2), 67–69.
- Gallo, C., Lizondo, G., & Knowles, T. D. (2003). Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Veterinary Record*, 152, 361–364.
- Gallo, C., & Tadich, N. (2005). Transporte terrestre de bovinos: efectos sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. *Agro-Ciencia*, 21, 37–49.
- Gallo, C., Teuber, M., Cartes, M., Uribe, H., & Grandin, T. (2003). Improvements in stunning of cattle with a pneumatic stunner after changes in equipment and employee training. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 35, 159–170.
- Galyean, M. L., Lee, R. W., & Hubbert, M. E. (1981). Influence of fasting and transit on ruminal and blood metabolites in beef steers. *Journal of Animal Science*, 53, 7–18.
- Gardner, G. E., McIntyre, B. L., Tudor, G. D., & Pethick, D. W. (2001). *Nutritional influences on muscle glycogen recovery following exercise in sheep and cattle. Recent advances in animal nutrition in Australia*. Vol. 13, 145–151.
- Grandin, T. (1998). Objective scoring of animal holding and stunning practices at slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 212, 36–39.
- Grandin, T. (2002). Return sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 221, 1258–1261.
- Grandin, T. (2017). *Recommended animal handling guidelines & audit guide: A systematic approach to animal welfare*. (Rev. 1). American Meat Institute Foundation (Chapter 4).
- Gregory, N. G. (2010). How climatic changes could affect meat quality. *Food Research International*, 43(7), 1866–1873.
- Gregory, N. G., Lee, C., & Widdicombe, J. (2007). Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Science*, 77, 499–503.
- Gregory, N. G., & Temple, G. (1998). *Animal welfare and meat science*. New York: Cabi Publishing (Chapter 3).
- Hahn, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*, 77(2), 10–20.
- Hahn, G. L., Gaughan, J. B., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2009). Thermal indices and their applications for livestock environments. In J. A. DeShazer (Ed.), *Livestock energetics and thermal environment* (pp. 113–130). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Hargreaves, A., Barales, L., Peña, I., Larraín, R., & Zamorano, L. (2004). Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de bovinos. *Ciencia e Investigación Agraria*, 31(3), 155–166.
- Holdstock, J., Aalhus, J. L., Uttaro, B. A., Lopez-Campos, O., Larsen, I. L., & Bruce, H. L. (2014). The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the longissimus thoracis within the dark cutting (Canada B4) beef carcass grade. *Meat Science*, 98, 842–849.
- Hopkins, D. L., Stanley, D. F., Martin, L. C., Toohy, E. S., & Gilmour, A. R. (2007). Genotype and age effects on sheep meat production. 3. Meat quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(10), 1155–1164.
- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). *Applied logistic regression* (2nd ed.). New York, NY: USA. Wiley-Interscience publication (Chapter 5).
- HSA (2016). *Captive-Bolt stunning of livestock*. Wheathampstead, Herts. AL4 8AN, UK: Humane Slaughter Association.
- Huertas, S. M., Gil, A. D., Piaggio, J. M., & Van Eerdenburg, F. J. C. M. (2010). Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcass bruising in an extensive production system. *Animal Welfare*, 19, 281–285.
- Huff-Loneragan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71, 194–204.
- Hughes, J., Clarke, F., Purslow, P., & Warner, R. (2017). High pH in beef longissimus thoracis reduces muscle fibre transverse shrinkage and light scattering which contributes to the dark colour. *Food Research International*, 101, 228–238.
- Immonen, K., Ruusunen, M., Hissa, K., & Puolanne, E. (2000). Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 55, 25–31.
- Jacob, R. H., Pethick, D. W., & Chapman, H. M. (2005). Muscle glycogen concentrations in commercial consignments of Australian lamb measured on farm and post-slaughter after three different lairage periods. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45(5), 543–552.
- Jones, S. D. M., & Tong, K. W. (1989). Factors influencing the commercial incidence of dark cutting beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 649–654.
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Al-Ajmi, D. S., Al-Maqbaly, R. S., Al-Mugheiry, S. M., & Bartolome, D. Y. (2004). The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef m. longissimus thoracis. *Meat Science*, 66(4), 831–836.
- Kim, Y. H. B., Warner, R. D., & Rosenvol, K. (2014). Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: A review. *Animal Production Science*, 54, 414–421.
- Knee, B. W., Cummins, L. J., Walker, P., & Warner, R. (2004). Seasonal variation in muscle glycogen in beef steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, 729–734.
- Lahucky, R., Palanska, O., Mojto, J., Zaujec, K., & Huba, J. (1998). Effect of Preslaughter Handling on muscle glycogen level and selected meat quality traits in beef. *Meat Science*, 50, 389–393.
- Lawrie, R. A., & Ledward, D. A. (2006). *Lawrie's meat science* (7th ed.). England: Abington Hall (Published by Woodhead Publishing Limited, (Chapter 5)).
- Leyva-García, I. A., Figueroa-Saavedra, F., Sánchez-López, E., Pérez-Linares, C., & Barrenas-Serrano, A. (2012). *Economic impact of DFD beef in a Federal Inspection Type (TIF) slaughterhouse*. Vol. 44, Archivos de Medicina Veterinaria 39–42.
- Llewellyn, D., Border, S., & Allerton, D. (2002). Results of a producer dark cutting survey. *Animal Production in Australia*, 24, 137–140.
- Loneragan, H. E., Zhang, W., & Lonergan, S. M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86(1), 184–195.
- Mach, N., Bach, A., Velarde, A., & Devant, M. (2008). Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science*, 78, 232–238.
- Mahmood, S., Basarab, J. A., Dixon, W. T., & Bruce, H. L. (2016a). Can potential for dark cutting be predicted by phenotype? Relationship between sex, carcass characteristics and the incidence of dark cutting beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 96, 19–31.
- Mahmood, S., Basarab, J. A., Dixon, W. T., & Bruce, H. L. (2016b). Relationship between phenotype, carcass characteristics and the incidence of dark cutting in heifers. *Meat Science*, 121, 261–271.
- Malmfors, G., & Wiklund, E. (1996). Pre-slaughter handling of reindeer-effects on meat quality. *Meat Science*, 43, 257–264.
- Maria, G. A. (2008). Meat Quality. In M. C. Appleby, V. A. Cussen, L. Garcés, M. A. Lambert, & J. Turner (Eds.), *Long distance transport and welfare of farm animals* (pp. 77–112). London: CABI Publishing.
- Marsh, B. B., Ringkob, T. P., Russell, R. L., Swartz, D. R., & Pagel, L. A. (1987). Effects of early-postmortem glycolytic rate on beef tenderness. *Meat Science*, 21, 241–248.

- McGilchrist, P., Alston, C. L., Gardner, G. E., Thomson, K. L., & Pethick, D. W. (2012). Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. *Meat Science*, 92, 474–480.
- McKenna, D. R., Robert, D. L., Bates, P. K., Schmidt, T. B., Hale, D. S., Griffin, D. B., et al. (2002). National beef quality Audit2000: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 80, 1212–1222.
- McPhail, N., Stark, J., Ball, A., & Wamer, R. (2014). Factors influencing the occurrence of high ultimate pH in three muscles of lamb carcasses in Australia. *Animal Production Science*, 54(10), 1853–1859.
- Melody, J. L., Lonergan, S. M., Rowe, L. J., Huiatt, T. W., Mayes, M. S., & Huff-Lonergan, E. (2004). Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. *Journal of Animal Science*, 82, 1195–1205.
- Minka, N. S., & Ayo, J. O. (2010). Physiological responses of food animals to road transportation stress. *African Journal of Biotechnology*, 9(40), 6601–6613.
- Miranda-De-La-Lama, G. C., Leyva-García, I. G., Barreras-Serrano, A., Pérez-Linares, C., Sánchez-López, E., Figueroa-Saavedra, F., et al. (2012). Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 497–504.
- Moore, M. C., Gray, G. D., Hale, D. S., Kerth, C. R., Griffin, D. B., Savell, J. W., et al. (2012). National Beef Quality Audit–2011: In-plant survey of targeted carcass characteristics related to quality, quantity, value, and marketing of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 90(13), 5143–5151.
- Murray, A. C. (1989). Factors affecting beef color at time of grading. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 347–355.
- Nijisane, Y. Z., & Muchenje, V. (2017). Farm to abattoir conditions, animal factors and their subsequent effects on cattle behavioural responses and beef quality — A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(6), 755–764.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014 (2014). *Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres*. Diario Oficial de la Federación. SAGARPA.
- OIE (2017). *Terrestrial animal health code* (26th ed.). World Organisation for Animal Health (Chapter 7.5: Slaughter of animals).
- O'Neill, H. A., Webb, E. C., Frylinck, L., & Strydom, P. E. (2006). The stress responsiveness of three different beef breed types and the effect on ultimate pH and meat colour. *Proceedings 52nd international congress of meat science and technology* (pp. 181–182). (13–18 August 2006, Dublin, Ireland).
- Önenç, A., & Kaya, A. (2004). The effects of electrical stunning and percussive captive bolt stunning on meat quality of cattle processed by Turkish slaughter procedures. *Meat Science*, 66(4), 809–815.
- Page, J. K., Wulf, D. M., & Schlotzky, T. R. (2001). A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science*, 79(3), 678–687.
- Park, B. Y., Lee, J. M., & Hwang, I. H. (2007). Effect of postmortem metabolic rate on meat color. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(4), 598–604.
- Pérez-Linares, C., Barreras, A., Sánchez, E., Herrera, B., & Figueroa-Saavedra, F. (2015). The effect of changing the pre-slaughter handling on bovine cattle DFD meat. *Revista MVZ Córdoba*, 20(3), 4688–4697.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., & Barreras-Serrano, A. (2006). Relationship between management factors and the occurrence of DFD meat in cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5(7), 578–581.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., & Barreras-Serrano, A. (2008). Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en clima desértico. *Archivos de Zootecnia*, 57(220), 545–547.
- Sanchez-Sanchez, M., Vieira-Aller, C., De-La-Fuente-Vazquez, J., Perez-Marcos, C., Lauzurica-Gomez, S., Gonzalez-De-Chavarri, E., & Diaz-Diaz-Chiron, M. T. (2013). Effect of season and stocking density during transport on carcass and meat quality of suckling lambs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 394–404.
- Sañudo, C., Monson, F., Campo, M. M., Beltran, J. A., & Bello, J. M. (2005). *Variación del pH en canales comerciales de cordero*. ITEA. Extra N° 26. Tomo II/703–705.
- SAS Institute Inc. Base SAS® 9.4 (2013). *Procedures guide: Statistical procedures* (2nd ed.). Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Savell, J. W., Mueller, S. L., & Baird, B. E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70(3), 449–459.
- Scanga, J. A., Belk, K. E., Tatum, J. D., Grandin, T., & Smith, G. C. (1998). Factors contributing to the incidence of dark cutting beef. *Journal of Animal Science*, 76, 388–395.
- Schwartzkopf-Genswein, K. S., Haley, B. H., Church, S., Woods, J., & OByrne, T. (2008). An education and training programme for livestock transporters in Canada. *Veterinaria Italiana*, 44(1), 273–283.
- Schwartzkopf-Genswein, K., & Grandin, T. (2014). Cattle transport by road. In G. Temple (Ed.), *Livestock Handling and Transport* (pp. 143–173). Wallingford, UK: CABI International.
- Sotelo, A. P., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Barreras-Serrano, A., & Sanchez-Lopez, E. (2008). Evaluation of changes in management practices on frequency of DFD meat in cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(3), 319–321.
- Stevenson, C. R., Knee, B. W., Philpotts, A. C., & Warner, R. C. (1996). *Investigation into the occurrence of dark cutting in beef carcasses*. Vol. 21, Proc. Australian Society of Animal Production 147–150.
- Tadich, N., Gallo, C., Echeverría, R., & Van Schaik, G. (2003). Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 35(2), 171–185.
- Teke, B., Akdag, F., Ekiz, B., & Ugurlu, M. (2014). Effects of different lairage times after long distance transportation on carcass and meat quality characteristics of Hungarian Simmental bulls. *Meat Science*, 96, 224–229.
- Terlouw, C., Bourguet, C., & Deiss, V. (2016). Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Science*, 118, 133–146.
- Terlouw, E. M. C., Bourguet, C., Deiss, V., & Mallet, C. (2015). Origins of movements following stunning and during bleeding in cattle. *Meat Science*, 110, 135–144.
- Verhoeven, M. T., Gerritzen, M. A., Hellebrekers, L. J., & Kemp, B. (2015). Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: A review. *Animal*, 9(2), 320–330.
- Viljoen, H. F., de Kock, H. L., & Webb, E. C. (2001). Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science*, 61, 181–185.
- Vittinghoff, E., Glidden, D. V., Shiboski, S. C., & McCulloch, S. E. (2011). *Regression methods in biostatistics: Linear, logistic, survival, and repeated measures models* (2nd ed.). New York: Springer (Chapter 5).
- Voisin, B. D., Grandin, T., O'Connor, S. F., Tatum, J. D., & Deising, M. J. (1997). Bos indicus cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*, 46, 367–377.
- Warner, R. D., Ferguson, D. M., Cottrell, J. J., & Knee, B. (2007). Acute stress induced by the use of electric prodders pre-slaughter causes tougher beef meat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 782–788.
- Warren, L. A., Mandell, I. B., & Bateman, K. G. (2010). Road transport conditions of slaughter cattle: Effects on the prevalence of dark, firm and dry beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 90(4), 471–482.
- 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.
- Yang, A., Brewster, M. J., Lanari, M. C., & Tume, R. K. (2002). Effect of vitamin E supplementation on α -tocopherol and β -carotene concentrations in tissues from pasture and grain-fed cattle. *Meat Science*, 60, 35–40.

CAPÍTULO

IV

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de este trabajo de investigación y de otros estudios establecen que los factores que afectan la presencia de carne DFD o corte oscuro en canales de bovinos son múltiples y variados. La evaluación del riesgo a la presencia de este problema debe tener un enfoque multifactorial, en el que debe evitarse el análisis segmentado del proceso de sacrificio, ya que de lo contrario, resultará insuficiente una valoración efectiva de la calidad fisicoquímica de la carne. La evaluación de todos los factores que influyen en su frecuencia, es decir, variables ambientales, intrínsecas del animal y factores de manejo, resultará en una prevención más efectiva de este defecto. Del mismo modo, deben considerarse para su análisis las diferentes etapas por las que pasa por allí el animal. Esto incluye la llegada y descarga, tiempo en corrales de espera y manga de sacrificio, el insensibilizado, el desangrado, el procesamiento de las canales y la estancia de ellas en el cuarto frío. Cada una de estas fases es de vital importancia para la calidad del producto final y en un sistema de evaluación de canales deberán considerarse todas, utilizando los parámetros necesarios, así como sus interacciones, dentro de cada una de estas etapas, para conocer de manera adecuada cuales son los factores que realmente influyen en la presencia de carne DFD y evitar las pérdidas económicas asociadas a esta problemática.

En esta investigación, específicamente, cuatro de las variables evaluadas en condiciones comerciales resultaron con valor predictivo dentro de un modelo logístico: el tiempo que el ganado pasó en el corral de espera, que es parte de la etapa *ante mortem*, la eficacia del insensibilizado, que conforma la fase inmediatamente anterior al sacrificio, el espesor de grasa subcutánea, que es de naturaleza intrínseca y el diferencial del pH, que contribuye de manera fundamental en el metabolismo *post mortem*. Sin embargo, en el modelo logístico no se observó ninguna interacción significativa entre las variables evaluadas. Por lo cual, en base a lo anterior, se infieren dos situaciones: 1) que los factores que están involucrados en el riesgo de carne DFD están presentes en todas las etapas y 2) que la relación que tienen entre sí estos factores, todavía no está bien definida.