

Carne oscura, firme y seca (DFD). Causas, implicaciones y métodos de determinación

Dark-cutting meat. Causes, implications, and methods of determination

Leonardo Hernández Hernández¹ ; Wilson Andrés Barragán-Hernández² 
Joaquín Angulo-Arizala¹ ; Liliana Mahecha-Ledesma^{1*} 

¹Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias GRICA. Ciudadela Robledo. Medellín, Colombia.
²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación El Nus. San Roque, Colombia.

*Correspondencia: Liliana.mahecha@udea.edu.co

Recepción: 08 Septiembre 2022 | Aprobación: 12 enero 2023 | Publicación: 25 enero 2023

RESUMEN

Objetivo. Revisar las causas, consecuencias y métodos de determinación de la carne DFD con el fin de contribuir al conocimiento de esta anomalía para encontrar alternativas que contrarresten su presencia. **Desarrollo.** La carne DFD se presenta cuando las reservas de glucógeno muscular no son suficientes para que el pH descienda a su punto óptimo 24 h después del beneficio. Se estudian diversos factores ambientales e inherentes al animal que pueden estar interrelacionados y que serían los responsables de estrés y consecuente aparición de carne DFD. Así mismo, se revisan los diferentes métodos con los cuales se puede determinar esta condición. **Consideraciones finales.** El manejo de los animales pre- y post-beneficio es determinante en la aparición de carnes DFD. Conocer los factores que influyen sobre su presencia y los métodos disponibles para su determinación puede contribuir con la disminución de esta anomalía y mejorar la calidad de las canales.

Palabras clave: Calidad de carne; canal animal; propiedades organolépticas; colorimetría; beneficio; consumidores.

ABSTRACT

Objective. Review the cause, consequences, and assessment methods in DFD beef to contribute to the knowledge of this meat anomaly and analyze alternatives to face. **Development.** The DFD beef shows up when the stock of muscular glycogen is not enough to decline muscular pH 24 h to the optimal point after being slaughtered. Several factors related to beef DFD including animal and environmental, are studied; likewise, asses' methods are revised. **Final considerations.** Handling before and after slaughter are a keystone to DFD presence. Therefore, knowing the relationship among factors related to DFD and the assessment methods could diminish the DFD presence in the beef value chain.

Keywords: Beef quality, Carcass, Organoleptic properties, Colorimetry, Slaughter, Consumers.

Como citar (Vancouver).

Hernández HL, Barragán-Hernández WA, Angulo-Arizala J, Mahecha-Ledesma L. Carne oscura, firme y seca (DFD). Causas, implicaciones y métodos de determinación. Rev Colombiana Cienc Anim. Recia. 2023; 15(1):e938. <https://doi.org/10.24188/recia.v15.n1.2023.938>

INTRODUCCIÓN

Un mundo cambiante, con un crecimiento acelerado de la población, demanda gran cantidad de alimento. Para los próximos años, se espera que el consumo de carne bovina sea una solución relevante para suplir los requerimientos nutricionales de la población mundial, debido a que es un alimento que contiene nutrientes importantes como proteína, ácidos grasos esenciales, vitaminas, hierro de alta biodisponibilidad, zinc, selenio entre otros minerales (1). Propiedades que hacen que la carne y sus derivados continúe como uno de los productos de origen animal más demandados a nivel mundial (2). Sin embargo, su calidad puede estar influenciada por algunas condiciones previas al beneficio que conllevan a la presentación de cortes oscuros y de textura defectuosa, conocidos como carne DFD (Dark, Firm, Dry – por sus siglas en inglés) (3).

Según Ponampalam et al (4) son varios factores los que influyen en la presentación de carne DFD, pero su interrelación aún no está bien definida. En este sentido, la estabilidad del color de la carne y la presentación de cortes oscuros estarían influenciadas principalmente por el elevado pH final (pH_u) (5), razón por la cual, este parámetro es usado como una herramienta de clasificación para canales DFD (6). No obstante, los procesos que se realizan en el análisis de la calidad de la carne basados en técnicas convencionales, requieren de equipos instrumentales, son costosos, consumen tiempo y pueden requerir insumos químicos (7).

Teniendo en cuenta lo anterior, este documento tuvo como objetivo revisar las causas e implicaciones de la carne DFD para conocer mejor esta anomalía, al igual que los principales métodos de determinación para su potencial y eficiente aplicación.

Carne DFD. Causas e implicaciones

La carne como alimento, puede ser definida como un producto transformado que se obtiene después del beneficio de los animales a partir de la canal caliente, en donde el músculo se somete a un proceso de maduración que le produce cambios en su bioquímica y determina algunos atributos de calidad, que posteriormente relacionarán la experiencia de consumo (8).

Los atributos de la carne pueden ser extrínsecos e intrínsecos y pueden relacionarse con el consumidor de acuerdo con la confianza, al consumo y a la apariencia (9). Entre los atributos intrínsecos, el color, la terneza, la grasa intramuscular, y la percepción general son los que causan mayor interés entre los consumidores (10). Sin embargo, el color sigue siendo el atributo de mayor influencia sobre la decisión de compra, porque el consumidor tiende a relacionarlo con el sabor, la terneza, la inocuidad, el valor nutricional y el nivel de satisfacción que puede esperar al momento de consumir carne (11).

El color de la carne normal es rojo brillante (12) y los cortes oscuros son rechazados por el consumidor. Las pérdidas de la producción anual, por rechazo ante color oscuro, llegan hasta el 22% en países como Canadá, Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia (13).

Los cortes oscuros, también conocidos como carnes DFD (del inglés Dry, Firm, and Dark), se caracterizan porque presentan un pH_u superior a 5.8 cuando se mide a las 24 o 48 h *post mortem*, tienen características de procesamiento pobres, color más oscuro, grandes variaciones en la terneza, alta capacidad de retención de agua y un alto potencial de crecimiento microbiano a un tiempo de almacenamiento corto, en comparación con la carne normal (14). Su incidencia en la industria de la carne bovina varía entre países, estando alrededor de 3.2% en los Estados Unidos (15), 1.28% en Canadá (16), y entre 1.5 y 12.4% en Australia (17). Otros reportes de incidencia y su impacto económico se pueden revisar en la tabla 1.

Tabla 1. Incidencia de carne DFD en algunos países y su impacto económico.

País	Incidencia (%)	Pérdidas estimadas (US)	Año	Referencia
E. E U. U	1	Hasta 100 Millones	2020	(18)
España	14	Indeterminado	2006	(19)
Canadá	1.3	Hasta 1,4 Millones	2011	(20)
México	>15	Hasta 88 por canal	2012	(21)
Australia	5	Hasta 55 Millones	2015	(22)
Brasil	4.56	indeterminado	2016	(23)
Colombia	>48	Indeterminado	2019	(24)

Fuente: Elaboración propia a partir de las referencias

Unas investigaciones recientes sobre las pérdidas económicas estimadas por decoloración de la carne solo en los Estados Unidos para el año 2021 estuvieron alrededor de los US 3730 millones, lo cual fue calculado por el desecho de alrededor de 194.7 millones de kgs. de carne que representan unos 780 mil animales (25). Estas circunstancias han motivado la búsqueda de estrategias que permitan mejorar la vida útil del color de la carne y sus derivados (26).

Mecanismos celulares y moleculares que intervienen en la presentación de carne DFD.

La condición de carne DFD, generalmente surge después de que el ganado experimenta estrés físico y psicológico antes del beneficio. Durante este proceso, el glucógeno muscular se agota, altera la tasa de disminución del pH y por consiguiente produce músculos oscuros (27).

Después del beneficio del animal, en la transformación del músculo a carne, se presentan unos cambios en el metabolismo conocidos como acidificación, *rigor mortis* y maduración (28). Esta última etapa depende en gran medida de la duración y la temperatura, los tipos de músculos (fibras glucolíticas u oxidativas), el genotipo y la especie animal (29). Adicionalmente, la activación de enzimas proteolíticas calpaínas, catepsinas y caspasas, que impulsan la destrucción de las fibras musculares, se considera un factor determinante en la maduración (30).

El músculo *in vivo* presenta un pH neutro entre 7.2 y 7.4. Después de los procesos de insensibilización y exanguinación, se interrumpe el suministro de oxígeno a las células musculares, alterando el metabolismo aeróbico de la glucosa en el ciclo del ácido tricarboxílico y la cadena respiratoria (5). En consecuencia, la glucosa se hidroliza y metaboliza en ausencia de oxígeno a partir del glucógeno muscular para generar lactato e iones de hidrógeno, que junto al trifosfato de adenosina (ATP) disminuyen el pH intracelular (31).

La suma molar de todos los sustratos de la glucólisis como el glucógeno, la glucosa y el lactato da como resultado el potencial glucolítico, el cual tiene correlación negativa con el pH (32). El descenso de este último está determinado por factores fisiológicos como el tipo de miofibra, el tipo de músculo y factores ambientales como la dieta y el estrés previo al beneficio (5).

Cuando el pH final se encuentra entre 5.4-5.8, se inhibe la actividad de la enzima fosfofructoquinasa reguladora de la glucólisis, que detiene el proceso metabólico y la caída del pH en las fibras glucolíticas (33). En este sentido, la glucólisis está activa hasta que el medio alcanza un pH ácido, su dinámica sería dependiente de las reservas de glucógeno muscular antes del beneficio y por consiguiente este sería determinante en algunos atributos de la calidad de la carne, como el color, el pH, la ternura, la capacidad de retención de agua y la maduración (34).

Varios investigadores e industriales de la carne toman el valor de pH a las 24 o 48 h post-mortem como punto de referencia para determinar la condición DFD (4). Sin embargo, no existe consenso establecido en los valores de determinación, razón por la cual existen varias clasificaciones y valores de referencia que permiten determinar el pH de acuerdo a algunos atributos como el color y la ternura.

El color de la carne que percibe el consumidor es una consecuencia de la combinación de la luz reflejada, absorbida o esparcida por la superficie de la carne. Este color está determinado por la concentración y estado químico de la proteína mioglobina (Mb), la estructura y tipo de fibra presente en el músculo, el potencial antioxidante y la concentración de grasa intramuscular (26).

La concentración de mioglobina puede afectarse por factores intrínsecos como la genética, la edad, la concentración de testosterona, el tipo de músculo, la fibra involucrada, factores extrínsecos la frecuencia y la duración del ejercicio físico (5).

La mioglobina de acuerdo con su estado oxidativo en la superficie del músculo, se puede encontrar como desoximioglobina, estando ligada al hierro, sin oxígeno y de apariencia color rojo púrpura. Cuando se le adiciona oxígeno, se encuentra como oxymioglobina, el color puede ser rojo cereza y por esta razón se le asocia como carne fresca; por último, cuando se oxida la molécula de hierro, la mioglobina toma la forma de metamioglobina. En esta última condición, la carne adquiere un color rojo oscuro o pardo, asociado como un producto de baja calidad (35).

Teniendo en cuenta lo anterior, el color del músculo depende del grado de oxigenación de la mioglobina, y éste a su vez, está limitado por la actividad mitocondrial, la cual depende del pH, del tiempo postmortem y el tipo de fibra muscular (31). Según Ramanathan et al (36), en el músculo existe una competencia por el oxígeno disponible entre las mitocondrias, la mioglobina y algunas enzimas. Si el pH se encuentra por debajo de 5.7, la actividad mitocondrial es mínima y la mioglobina puede mantener su oxigenación; pero si el pH aumenta sobre este valor, las mitocondrias se vuelven activas y se da lugar a una desoximioglobina dominante (26), característica en las carnes DFD.

Desde el punto de vista estructural, si los valores de pH son superiores a 5.7, se aumenta la carga negativa de la matriz muscular y por consiguiente, los espacios dentro y entre las miofibrillas; esta condición produce una mayor capacidad de retención de agua intracelular que hace que la carne absorba luz y disminuya la reflectancia (11), resultando dicha carne con una apariencia oscura que rechaza el consumidor.

En cuanto a la terneza, existen tres rangos de pH: Normal (<5.8), intermedio (5.9-6.2) y alto (>6.20) (37). El nivel máximo de pH_u del músculo post mórtem juega un papel crítico en el proceso de degradación de proteínas miofibrilares, ya que la carne con pH_u intermedio tiende a ser más dura que la carne con rangos de pH_u normal o alto. Se ha evidenciado que al parecer en este rango de pH_u las caspasas 3/7 no son activas mientras que las proteínas de choque térmico (HSP) pueden proteger a las proteínas miofibrilares (19) lo que afectaría los procesos de ablandamiento. A un registro de pH <5.7, se produce una gran desnaturalización de proteínas hasta el punto de quedar expuestas y susceptibles a la degradación enzimática (4).

El glucógeno muscular previo al beneficio, al ser uno de los factores determinante en los valores de pH_u , estaría condicionando la presentación de los mecanismos de degradación muscular como es la apoptosis y por consiguiente influyendo sobre sus atributos de color, terneza y sabor. La apoptosis es responsable de inducir la pérdida de la función mitocondrial, reducir el volumen de las células musculares, romper las células miofibrilares y translocar los fosfolípidos de membrana (38). Estos procesos liberan compuestos de nucleótidos y fragmentos de azúcar relacionados con la reacción de Maillard, que al igual que la glucosa, n-aldehídos y cetonas estarían relacionados con la oxidación de lípidos, entre otros que determinan el sabor de la carne al momento de la maduración (39).

Teniendo en cuenta lo anterior, al presentar la carne un pH_u , alto típico de los cortes DFD, se estaría afectando el proceso normal de maduración, conllevando de esta manera a la presentación de sabores desagradables que disminuyen su vida útil y la calidad de sus atributos (4).

Factores pre y post beneficio que afectan la presencia de carne DFD

La alta demanda de proteína animal en todo el mundo está conllevando a un mayor número de animales sacrificados por año, razón por la que se genera una presión sobre los sistemas de producción al disponer de un mayor número de animales con ciclos de producción más cortos, estas circunstancias influyen en el bienestar animal, y por consiguiente en la calidad de la carne (40).

Previo al beneficio, los animales pasan por algunas situaciones desfavorables en la que varios factores pueden desencadenar una condición de estrés. Regularmente, dichos factores aumentan con la actividad física, miedo, deshidratación, hambre y fatiga, lo que influye en una disminución en la concentración de glucógeno muscular que altera la caída normal del pH y ocasiona la presentación de carne DFD (41).

En cuanto a los factores relacionados con el manejo, el sistema de alimentación ha demostrado ser determinante en la presentación de carne DFD, dado que el tipo de alimento puede afectar la ingesta total de energía, la deposición de glucógeno y antioxidantes (42). Se ha establecido que los animales que se alimentan con base en pastos con contenido alto de proteína y baja energía, tienden a presentar mayor carne DFD que los alimentados con granos. Por su parte, las dietas con base en granos contienen mayor concentración de nutrientes energéticos, lo que puede influir sobre las reservas de glucógeno muscular y su tasa de agotamiento, el contenido de grasa, el peso de la canal, y la tasa de enfriamiento(4). En ganado Nellore, se mejoraron los atributos de la canal y la carne cuando se aumentó el período de alimentación con una dieta concentrada en energía (42).

La genética es otro factor importante que incide sobre la presentación de carne DFD(5). El fenotipo del animal estaría indicando que algunos animales serían más susceptibles de presentar esta condición, porque son menos resistentes y se recuperan más lentamente del estrés físico (43) lo que traería como consecuencia una alteración en la reserva de glucógeno muscular. Por otra parte, se ha reportado diferencias sobre el contenido de mioglobina relacionada con DFD entre razas, siendo mayor en Simmental (3.71 mg/ml) que en Charolais y Limousin (2.77 y 2.72 mg/ml, respectivamente)(44). No obstante, otros autores reportaron mayor incidencia de carne DFD en ganado Holstein y Angus negro, siendo las de menor incidencia la raza Blanco azul belga y la Charoláis (45).

La mayor presencia de hormonas o modificadores metabólicos también pueden aumentar la presentación de carne DFD(42). En este sentido, se ha reportado una mayor presencia de DFD en machos, comparado con hembras (46); lo cual se explica por la relación entre la testosterona y el comportamiento agresivo, mayor actividad física y estrés fisiológico en los animales. Por esta razón, la inmunocastración ha sido asociada con una mejor calidad de la canal (47). Por otra parte, el estado fisiológico y su influencia hormonal en las hembras, también ha sido referenciado como un factor que afecta significativamente la presencia de la condición DFD, toda vez que Kawecki et al (45) reportaron mayor frecuencia de carne DFD en vacas que en novillas.

En términos de crecimiento, se ha establecido que los animales con mayor edad tienden a presentar un mayor pH muscular debido a que aumenta la concentración de mioglobina (48), lo que se relaciona más con una mayor capacidad oxidativa del músculo que con una menor concentración de glucógeno (49). Kawecki et al (45), encontraron una menor incidencia de carne DFD en canales de animales jóvenes, llegando al 9.67% en menores de 24 meses y al 15.25% en los que superaban los 30 meses de edad.

Otro factor importante que podría afectar la incidencia de carne DFD es el clima. Varios estudios demuestran que en clima caliente es más común la presencia de carne DFD que en fríos (50), lo que podría asociarse con la menor calidad de los pastos y al estrés calórico (5). Esto concuerda con lo reportado por Kawecki et al (48) quienes encontraron que la mayor frecuencia de carne DFD se dio durante el verano y la menor en otoño. Sin embargo, un estudio reciente encontró que en las temperaturas más bajas hubo incidencia de carne DFD, lo que según sus autores puede ser debido a un mayor gasto energético por la producción de calor metabólico, cuando las condiciones ambientales están por debajo de la zona termoneutral (51)

El transporte del ganado, es quizás el factor más determinante en la presentación de la anomalía DFD (52). Durante el desarrollo de esta actividad, se pueden presentar otras variables que estresan a los animales como son el tipo de transporte, la duración del recorrido y el espacio disponible (53). Se encontró que cuando los animales fueron transportados a más de 300 km de distancia, se aumentó considerablemente la presencia de carne DFD sobre aquellos que fueron transportados a menos de 100 km (45). Ante tan evidente problemática, algunos países como Nueva Zelanda, Australia, Canadá, la Unión Europea, entre otros, han venido tomando medidas al respecto que garanticen el bienestar animal, como es establecer tiempos máximos de recorrido, tiempos de descanso, camiones

acondicionados para tal fin, espacio suficiente de acuerdo con el tipo de animal y disponibilidad de agua y alimento durante el recorrido (4).

Además del transporte, el origen o sistema de comercialización del ganado puede influir sobre la presentación de carne DFD (54). Regularmente, el ganado bovino que llega a la sala de beneficio proviene de animales que se comercializan de forma directa o a través de subastas comerciales en donde se presentan situaciones estresantes como son la poca disponibilidad de agua y alimento, la mezcla con otros animales, el transporte, la carga y descarga en varias ocasiones (55). En este sentido, algunas entidades como la Meat Standard Australia (MSA) prefieren animales adquiridos directamente de las granjas, debido a que la exposición a estrés pre beneficio desencadena la degradación del glucógeno muscular y este se caracteriza por ser de lenta recuperación (56).

Después del proceso de comercialización, algunos de los animales regularmente son transportados hasta los corrales de la planta de beneficio donde deben permanecer durante un período de ayuno hasta que inicie el proceso de beneficio (57). Se ha documentado que este es un período crítico debido a que hay mezcla de animales que favorecen la presentación de peñas por el dominio jerárquico, el cual se agudiza cuando la densidad de animales aumenta (20). Además, este periodo es variable y en algunos casos puede llegar a superar las 40 horas (57), lo que influye sobre las reservas de glucógeno muscular y por consiguiente contribuye con la presentación de carne DFD.

Posterior al período de espera en los corrales, los animales son trasladados a la sala de beneficio, en donde nuevamente son sometidos a factores estresantes como son nuevos olores, ruidos desconocidos y al uso de instrumentos para movilizarlos hasta la caja de aturdimiento (58). Por esta razón, el protocolo de beneficio y el nivel de tecnología utilizado en la planta pueden llegar a ser determinantes en la presentación de carne DFD (59).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, la interacción hombre-animal, reflejada en el apropiado manejo de los animales durante su vida productiva, sería fundamental para obtener mejores resultados relacionados con la calidad de la carne y prevenir la frecuencia en la presentación de carne DFD (60). Consecuentemente, estudios recientes recomiendan de manera urgente capacitar al personal que labora en los sistemas de producción y en las plantas de beneficio en las prácticas de manejo y bienestar animal para contrarrestar la presentación de carne DFD (24,53,61).

La presencia de canales con DFD también puede asociarse a la etapa posterior al beneficio (62). Debido a que la relación entre la tasa de disminución del pH en la canal y su temperatura afectan el proceso de conversión de músculo a carne (63). En este sentido, ciertas características de la canal, como el grosor de la grasa y su peso, así como la asignación de espacio para las canales en la cámara frigorífica se han relacionado con el problema (64). Por lo anterior, se han desarrollado algunas prácticas de procesamiento como son los tipos de maduración en seco, húmeda e inteligente, las cuales consisten en controlar la temperatura y mejorar los sistemas de empaque, con lo que se logran mejorar los atributos de la carne (63).

Métodos de determinación de carne DFD

La carne DFD puede determinarse subjetivamente por su apariencia externa, firme, seca y color oscuro, de rojo violáceo a negro (4). Sin embargo, se han diseñado métodos objetivos que permiten discriminar la presencia o ausencia de esta anomalía, teniendo como referencia la relación entre el potencial glucolítico, el color de la carne y el pH.

Entre los métodos utilizados para la determinación de carne DFD se encuentran la medición del potencial glucolítico en el músculo a través de la concentración de lactato, glucógeno y glucosa (65).

Otro método, quizás el más utilizado, es el de determinación de pH final en el músculo a las 24 o 48 h (6,14) el cual está estandarizado, pero tiene dificultades operativas, ya que es invasivo y puede representar un costo en reactivos y personal capacitado (66).

De manera alternativa a estos métodos y buscando mayor objetividad en la clasificación de carne DFD, se utiliza la técnica de colorimetría a través de instrumentos colorimétricos, los cuales por medio del espacio de color CIE L^*a^*b , relaciona el brillo o la luminosidad, la intensidad de amarillo e intensidad de rojo (67). Estos valores se pueden relacionar con niveles de pH, cargas microbianas, estabilidad oxidativa, entre otros parámetros (68). Sin embargo, el monitoreo del color en la determinación de carne DFD y la aceptabilidad del consumidor puede ser complejo, debido a las restricciones de los colorímetros típicos a escala de laboratorio, como los sistemas Minolta y Hunter, lo cuales a pesar del alto rendimiento que ofrecen, son costosos (69).

Por lo anterior, recientemente se ha evaluado con éxito en la industria cárnica el colorímetro Nix Pro Color Sensor™ (NIX), el cual surge como una alternativa a los instrumentos tradicionales, con beneficios como portabilidad, relativo bajo costo, y su interfaz fácil de usar que le permite sincronización con dispositivos inteligentes (70). Según Holman et al (71) NIX puede ser un medio objetivo para establecer un método de clasificación para carnes DFD. Sin embargo, los autores sugieren desarrollar trabajos adicionales por la variación en los valores de referencia en cuanto a pH y de consideración para carne DFD que se tiene en los diferentes países y mercados.

Además de la colorimetría, la técnica de espectroscopia también está demostrando ser una herramienta eficiente y rentable para la predicción simultánea de varios atributos importantes de la calidad sensorial de la carne (9). Esta técnica existe desde hace más de cuatro décadas, siendo la visible e infrarroja cercana (VIS-NIR), la técnica espectroscópica más usada en el análisis de alimentos, debido a su alta precisión, eficiencia, portabilidad, robustez y simplicidad de la instrumentación (66). Los instrumentos VIS-NIR se han utilizado para clasificar la condición DFD en carne bovina a través de diferentes métodos de regresión hasta con un 95% de efectividad (6), lo que indica que esta técnica es eficiente. Sin embargo, su costo puede ser variable dependiendo su aplicación (72).

En la ciencia de la carne se viene utilizando con mucho potencial el uso de imágenes hiperespectrales, el cual es un método espectroscópico que permite obtener información espectral en una escala de píxeles en las regiones infrarrojo de onda corta y visible (73). Esta técnica, predice muy bien los atributos de la carne como pH, composición química y terneza. En cuanto al color de la carne, se ha demostrado cómo a través de análisis de regresión por pasos, se puede identificar longitudes de onda importantes que predicen los valores Hunter L^* , a^* y b^* (74).

Adicionalmente, en la determinación de carne DFD a través del color, se viene ensayando el análisis de visión por computadora, este método ha mostrado ser más eficiente que los colorímetros Minolta y Hunter, lo cual se atribuye a una mayor capacidad, al necesitar una sola medición digital y mejorar los resultados en carnes de color no uniforme (75). Sin embargo, se debe considerar la portabilidad del instrumento y las limitaciones, ya que la comparación entre laboratorios puede ser un desafío, porque no existen condiciones estandarizadas para el análisis de la cámara y los datos (26).

Consideraciones finales

La presentación de carne DFD está generando grandes pérdidas económicas a la industria cárnica en todo el mundo. Existen varios factores pre- y post-beneficio que ocasionan esta condición y que pueden estar relacionados entre sí. Así mismo, están disponibles algunas metodologías para su determinación.

Contar con un método no invasivo, rápido, eficiente y económico para determinar la condición de carne DFD de forma rutinaria, permitiría aumentar el control y posiblemente en un futuro, facilitaría el establecimiento de un sistema de pago por calidad, e indirectamente podría contribuir a que se hagan ajustes en los protocolos pre y post beneficio que contrarresten esta anomalía.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Agradecimiento

Agradecimientos al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia - MINCIENCIAS a través de la convocatoria "Excelencia Doctoral del Bicentenario edición 2021" de la cual es beneficiario el primer autor; De igual forma, los autores agradecen a la estrategia de sostenibilidad del grupo de investigación GRICA de la Universidad de Antioquia.

REFERENCIAS

1. Klurfeld DM. Research gaps in evaluating the relationship of meat and health. *Meat Sci.* 2015; 109:86–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.022>
2. Kamruzzaman M, Makino Y, Oshita S. Non-invasive analytical technology for the detection of contamination, adulteration, and authenticity of meat, poultry, and fish: A review. *Anal Chim Acta.* 2015; 853(1):19–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2014.08.043>
3. García G, Zambrano W, Martínez G, Zambrano J. Alteraciones del pH y temperatura en la canal a causa de factores relacionados al transporte bovino previo al sacrificio. *Rev Las Agrociencias.* 2021; 26(Ed Esp)95–109. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.2524
4. Ponnampalam EN, Hopkins DL, Bruce H, Li D, Baldi G, Bekhit AE din. Causes and Contributing Factors to "Dark Cutting" Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2017; 16(3):400–430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12258>
5. de Sousa Ribeiro CC, Contreras-Castillo CJ, Santos-Donado PR Dos, Venturini AC. New alternatives for improving and assessing the color of dark-cutting beef – a review. *Sci Agric.* 2022; 79(1):1–16. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0079>
6. Prieto N, López-Campos O, Zijlstra RT, Uttaro B, Aalhus JL. Discrimination of beef dark cutters using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Can J Anim Sci.* 2014; 94(3):445–454. <https://doi.org/10.4141/cjas-2014-024>
7. Roberts JJ, Cozzolino D. An Overview on the Application of Chemometrics in Food Science and Technology—An Approach to Quantitative Data Analysis. *Food Anal Methods.* 2016; 9(12):3258–3267. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-016-0574-7>
8. Paredi G, Raboni S, Bendixen E, de Almeida AM, Mozzarelli A. "Muscle to meat" molecular events and technological transformations: The proteomics insight. *J Proteomics.* 2012; 75(14):4275–4289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2012.04.011>
9. Barragán-Hernández WA, Mahecha-Ledesma L, Olivera-Angel M, Angulo-Arizala J. Compositional and sensory quality of beef and its determination by near infrared. *Agron Mesoamerican.* 2021; 32(3):1000–1018. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.40607>
10. Aboah J, Lees N. Consumers use of quality cues for meat purchase: Research trends and future pathways. *Meat Sci.* 2020; 166:108142. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108142>
11. Purslow PP, Warner RD, Clarke FM, Hughes JM. Variations in meat colour due to factors other than myoglobin chemistry; a synthesis of recent findings (invited review). *Meat Sci* 2020; 159:107941. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107941>
12. Prill LL, Drey LN, Olson BA, Rice EA, Gonzalez JM, Vipham JL, et al. Visual Degree of Doneness Impacts Beef Palatability for Consumers with Different Degree of Doneness Preferences. *Meat Muscle Biol.* 2019; 3(1):411–423. <https://doi.org/10.22175/mmb2019.07.0024>

13. Gunders D. Wasted: How America is losing up to 40 percent of its food from farm to fork to landfill. NRDC Issue Pap; 2012. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/wasted-food-IP.pdf>
14. Franco D, Mato A, Salgado FJ, López-Pedrouso M, Carrera M, Bravo S, et al. Tackling proteome changes in the longissimus thoracis bovine muscle in response to pre-slaughter stress. *J Proteomics*. 2015; 122:73–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2015.03.029>
15. Beef Cattle Research Council. The 2010/11 National Beef Quality Audit: Canadá; 2010. https://www.beefresearch.ca/files/pdf/fact-sheets/nbqa_full_brochure_feb_2013.pdf
16. Beef Cattle Research Council. National Beef Quality Audit, 2010/11 Beef Carcass Audit Fact Sheet: Canadá; 2011. https://www.beefresearch.ca/files/pdf/fact-sheets/1181_CCA_NBQA_Factsheet_June_15_F.pdf
17. Mcgilchrist P, Perovic JL, Gardner GE, Pethick DW, Jose CG. The incidence of dark cutting in southern Australian beef production systems fluctuates between months. *Anim Prod Sci*. 2014; 54(10):1765–1769. <https://doi.org/10.1071/AN14356>
18. Riggs PK, Therrien DA, Vaughn RN, Rotenberry ML, Davis BW, Herring AD, et al. Differential Expression of MicroRNAs in Dark-Cutting Meat from Beef Carcasses. *Appl. Sci*. 2022; 12(7):3555. <https://doi.org/10.3390/app12073555>
19. Fuente-García C, Aldai N, Sentandreu E, Oliván M, Franco D, García-Torres S, Sentandreu M. Assessment of caspase activity in post mortem muscle as a way to explain characteristics of DFD beef. *J. Food Compos. Anal*. 2022; 111:104599. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104599>
20. Holdstock J, Aalhus JL, Uttaro BA, López-Campos Ó, Larsen IL, Bruce HL. 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 Sci*. 2014; 98(4):842–849. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.029>
21. Leyva-García IA, Figueroa-Saavedra F, Sánchez-López E, Pérez-Linares C, Barreras-Serrano A. Impacto económico de la presencia de carne DFD en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal (TIF). *Arch Med Vet*. 2012; 44(1):39–42.
22. Loudon KMW, Lean IJ, Pethick DW, Gardner GE, Grubb LJ, Evans AC, et al. On farm factors increasing dark cutting in pasture finished beef cattle. *Meat Sci*. 2018; 144:110–117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.011>
23. Rosa A, Fonseca R, Balieiro JC, Poleti MD, Domenech-Pérez K, Farnetani B, et al. Incidence of DFD meat on Brazilian beef cuts. *Meat Sci*. 2016; 112:132–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.074>
24. Patiño RM, Botero LM, Bohóquez W, Therán TM. Bienestar de Bovinos durante la fase de faenado en una planta de beneficio de la región Caribe de Colombia. *ACCB*. 2019; 1(31):24–35. <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/178>
25. Ramanathan R, Lambert LH, Nair MN, Morgan B, Feuz R, Mafi G. Economic Loss, Amount of Beef Discarded, Natural Resources Wastage, and Environmental Impact Due to Beef Discoloration. *Meat Muscle Biol*. 2022; 6(1):13218. <https://doi.org/10.22175/mmb.13218>
26. Ramanathan R, Hunt MC, Mancini RA, Nair MN, Denzer ML, Suman SP, et al. Recent Updates in Meat Color Research: Integrating Traditional and High-Throughput Approaches. *Meat Muscle Biol*. 2020; 4(2):1-24. <https://doi.org/10.22175/mmb.9598>
27. Claudia Terlouw EM, Picard B, Deiss V, Berri C, Hocquette JF, Leuret B, et al. Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: Stress at slaughter and other missing keys. *Foods*. 2021; 10(1):1-24. <https://doi.org/10.3390/foods10010084>

28. Fraeye I, Kratka M, Vandeburgh H, Thorrez L. Sensorial and Nutritional Aspects of Cultured Meat in Comparison to Traditional Meat: Much to Be Inferred. *Front Nutr.* 2020; 7(35):1-7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00035>
29. Sierra V, Olivan M. Role of Mitochondria on Muscle Cell Death and Meat Tenderization. *Recent Pat Endocr Metab Immune Drug Discov.* 2013; 7(2):120–129. <https://dx.doi.org/10.2174/1872214811307020005>
30. Lana A, Zolla L. Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. *J Proteomics.* 2016; 147:85–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2016.02.011>
31. England EM, Matarneh SK, Oliver EM, Apaoblaza A, Scheffler TL, Shi H, et al. Excess glycogen does not resolve high ultimate pH of oxidative muscle. *Meat Sci.* 2016; 114:95–102. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.10.010>
32. McKeith RO, King DA, Grayson AL, Shackelford SD, Gehring KB, Savell JW, et al. Mitochondrial abundance and efficiency contribute to lean color of dark cutting beef. *Meat Sci.* 2016; 116:165–173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.01.016>
33. England EM, Matarneh SK, Scheffler TL, Wacht C, Gerrard DE. pH inactivation of phosphofructokinase arrests postmortem glycolysis. *Meat Sci.* 2014; 98(4):850–857. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.019>
34. Zhang M, Dunshea FR, Warner RD, Digiacomio K, Chauhan SS, Warner RD. Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration : a review. *Int J Biometeorol.* 2020; 64:1613–1628. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01929-6>
35. AMSA. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat. American Meat Science Association Educational Foundation. 2015. <https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=6>
36. Ramanathan R, Suman SP, Faustman C. Biomolecular Interactions in Postmortem Skeletal Muscles Governing Fresh Meat Color : A Review. *J. Agric. Food Chem.* 2020; 68(46):12779–12787. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08098>
37. Contreras-Castillo CJ, Lomiwes D, Wu G, Frost D, Farouk MM. The effect of electrical stimulation on post mortem myofibrillar protein degradation and small heat shock protein kinetics in bull beef. *Meat Sci.* 2016; 113:65–72. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.012>
38. Wang LL, Yu QL, Han L, Ma XL, Song R De, Zhao SN, et al. Study on the effect of reactive oxygen species-mediated oxidative stress on the activation of mitochondrial apoptosis and the tenderness of yak meat. *Food Chem.* 2018; 244:394–402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.034>
39. Joo ST, Kim GD, Hwang YH, Ryu YC. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Sci.* 2013; 95(4):828–836. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>
40. Mouzo D, Rodríguez-vázquez R, Lorenzo JM, Franco D, Zapata C, López-pedrouso M. Proteomic application in predicting food quality relating to animal welfare . A review. *Trends Food Sci Technol.* 2020; 99:520–530. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.029>
41. Loredó-Ostí J, Sánchez-López E, Barreras-Serrano A, Figueroa-Saavedra F, Pérez-Linares C, Ruiz-Albarrán M, et al. An evaluation of environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a Federal Inspected Type slaughter plant. *Meat Sci.* 2019; 150:85–92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.007>

42. Silva LHP, Assis DEF, Estrada MM, Assis GJF, Zamudio GDR, Carneiro GB, et al. Carcass and meat quality traits of Nellore young bulls and steers throughout fattening. *Livest Sci.* 2019; 229:28–36. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.012>
43. 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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.020>
44. King DA, Shackelford SD, Kuehn LA, Kemp CM, Rodriguez AB, Thallman RM, et al. Contribution of genetic influences to animal-to-animal variation in myoglobin content and beef lean color stability. *J Anim Sci.* 2010; 88(3):1160–1167. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2544>.
45. Kawecki K, Stangierski J, Niedźwiedź J, Grześ B. The impact of environmental factors on the occurrence of DFD-type of beef in commercial abattoirs. *Emirates J Food Agric.* 2020; 32(7):533–542. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i7.2125>
46. Marenčić D, Ivanković A, Kozačinski L, Popović M. The effect of sex and age at slaughter on the physicochemical properties of baby-beef meat. *Vet Arh.* 2018; 88(1):101–110. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.160720>
47. Jacinto-valderrama RA, Sicca G, Sampaio L, Lucia M, Lima P, Noely J. Immunocastration on performance and meat quality of *Bos indicus* (Nellore) cattle under different nutritional systems. *Sci. agric.* 2021; 78(2):e20190136. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0136>
48. Gardner GE, Hopkins DL, Greenwood PL, Cake MA, Boyce MD, Pethick DW. Sheep genotype, age and muscle type affect the expression of metabolic enzyme markers. *Aust J Exp Agric.* 2007; 47(10):1180–1189. <https://doi.org/10.1071/EA07093>
49. Greenwood PL, Harden S, Hopkins DL. Myofibre characteristics of ovine longissimus and semitendinosus muscles are influenced by sire breed, gender, rearing type, age and carcass weight. *Aust J Exp Agric.* 2007; 47(10):1137–1146. <https://doi.org/10.1071/EA06324>
50. Pérez Linares, Serrano, F. Figueroa Saavedra AB. Management Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en climadesertico. *Arch Zootec* 2008; 57(220):545–547.
51. Steel C, Lees AM, Tarr G, Warner R, Dunshea F, Cowley F, et al. The impact of weather on the incidence of dark cutting in Australian feedlot cattle. *Int J Biometeorol.* 2022; 66(2):263–274. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02180-3>
52. Munilla ME, Vittone JS, Lado M, Romera SA, Teira GA. Efecto de las prácticas durante el manejo pre-faena sobre el rendimiento de la carne de bovinos. *Rev Vet.* 2021; 32(1):48. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.3215633>
53. Diro M, Mekete B, Gebremedhin EZ. Effect of pre-slaughter beef cattle handling on welfare and beef quality in Ambo and Guder markets and abattoirs, Oromia Regional State, Ethiopia. *Ethiop J Sci Technol.* 2021; 14(2):89–104. <https://doi.org/10.4314/ejst.v14i2.1>
54. Osti JL, Serrano AB, Saavedra FF, Linares CP, Ruiz-Albarrán M. Evaluación de los componentes del manejo antes, durante y después de la matanza y su asociación con la presencia de carne DFD en bovinos del noreste de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2021; 12(3):773-788. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.4866>
55. Herrán L, Romero M, Herrán L. Interacción humano-animal y prácticas de manejo bovino en subastas colombianas. *Rev Investig Vet del Peru.* 2017; 28(3):571–585. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i3.13360>

56. Lawrie RA, Ledward DA. Lawrie's meat science. 7th ed. Cambridge: CRC Press; 2006
57. Cordoba, C. Correa, G. Barahona, R. Tarazona A. Comportamiento de machos cebú en corrales presacrificio y su relación con el pH de la carne. Arch. Zootec. 66(256):579-586.
58. Pérez-linares C, Barrera A, Sánchez E, Bárbara S, Figueroa-Saavedra F. Efecto del cambio en el manejo antemortem sobre la presencia de carne DFD en ganado bovino. Rev MVZ Cordoba. 2015; 20(3):4688-4697. <https://doi.org/10.21897/rmvz.39>
59. Arik E, Karaca S. The effect of some pre-slaughter factors on meat quality of bulls slaughtered in a commercial abattoir in Turkey. Indian J Anim Res. 2017; 51(3):557-63.
60. Cobo GC, Romero HM. Importancia de la interacción hombre-animal durante el presacrificio bovino: Revisión. Biosalud. 2012; 11(2):79-91.
61. Carrasco-García AA, Pardío-Sedas VT, León-Banda GG, Ahuja-Aguirre C, Paredes-Ramos P, Hernández-Cruz BC, et al. Effect of stress during slaughter on carcass characteristics and meat quality in tropical beef cattle. Asian-Australasian J Anim Sci. 2020; 33(10):1656-1665. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0804>
62. Clinquart A, Ellies-Oury MP, Hocquette JF, Guillier L, Santé-Lhoutellier V, Prache S. Review: On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. Animal. 2022; 16:100426. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100426>
63. Kim YHB, Ma D, Setyabrata D, Farouk MM, Lonergan SM, Huff-Lonergan E, et al. Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. Meat Sci. 2018; 144:74-90. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.031>
64. McGilchrist P, Alston CL, Gardner GE, Thomson KL, Pethick DW. Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. Meat Sci. 2012; 92(4):474-480. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.014>
65. Young OA, West J, Hart AL, Van Otterdijk FFH. A method for early determination of meat ultimate pH. Meat Sci. 2004; 66(2):493-498. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00140-2](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00140-2)
66. Kademi HI, Ulusoy BH, Hecer C. Applications of miniaturized and portable near infrared spectroscopy (NIRS) for inspection and control of meat and meat products. Food Rev Int. 2019; 35(3):201-220. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1514624>
67. Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color. Meat Sci. 2005; 71(1):100-121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
68. Li S, Zamaratskaia G, Roos S, Båth K, Meijer J, Borch E, et al. Inter-relationships between the metrics of instrumental meat color and microbial growth during aerobic storage of beef at 4°C. Acta Agric Scand A Anim Sci. 2015; 65(2):97-106.
69. Hodgen J. Comparison of nix color sensor and nix color sensor pro to standard meat science research colorimeters. Meat Sci. 2016; 112:159. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.129>
70. Holman BWB, Collins D, Kilgannon AK, Hopkins DL. The effect of technical replicate (repeats) on Nix Pro Color Sensor™ measurement precision for meat : A case-study on aged beef colour stability. Meat Sci. 2018; 135:42-45. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.001>
71. Holman BWB, Hopkins DL. A comparison of the Nix Colour Sensor Pro™ and HunterLab MiniScan™ colorimetric instruments when assessing aged beef colour stability over 72 h display. Meat Sci. 2019; 147:162-165. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.09.009>

72. Prieto N, Pawluczyk O, Dugan MER, Aalhus JL. A Review of the Principles and Applications of Near-Infrared Spectroscopy to Characterize Meat, Fat, and Meat Products. *Appl Spectrosc.* 2017; 71(7):1403–1426. <https://doi.org/10.1177/0003702817709299>
73. Farmer LJ, Farrell DT. Review: Beef-eating quality: A European journey. *Animal.* 2018; 12(11):2424–2433. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001672>
74. Ma J, Sun D, Pu H, Cheng J, Wei Q. Advanced Techniques for Hyperspectral Imaging in the Food Industry: Principles and Recent Applications. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2019; 10:197–220. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121155>
75. Tomasevic I, Tomovic V, Milovanovic B, Lorenzo J, Đorđević V, Karabasil N, et al. Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties. *Meat Sci.* 2019; 148:5–12. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.09.015>