

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO
DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Informe Final de Servicio Social

**Bienestar del búfalo de agua: transporte, tiempo de espera previo al sacrificio,
aturdimiento y calidad de la carne**

Prestador del servicio social:

Nancy José Pérez

Matrícula:2162028777

Asesor Interno:

Daniel Mota Rojas

No. Económico: 26806

Asesor externo:

Isabel Guerrero Legarreta

No. Económico: 12849

Isabel Guerrero Legarreta

Lugar de realización:

Coordinación de la Licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

(100% en línea-Proyecto emergente UAM)

Fecha de inicio y terminación:

Del 11 de enero del 2021 al 11 de julio del 2021

ÍNDICE

Resumen	2
Introducción	2
Marco teórico	3
Objetivo general y específicos	6
Metodología utilizada	6
Objetivos y metas alcanzadas.....	6
Resultados y discusión	8
Conclusiones generales.....	57
Recomendaciones	59
Referencias.....	59

RESUMEN

Durante el periodo *antemortem*, el animal se enfrenta a situaciones novedosas como movimientos, ruidos y olores novedosos, hacinamiento, manejo, cambios en la jerarquía social, condiciones climáticas extremas o inaccesibilidad al agua o al alimento, fungen como factores estresantes, que a su vez pueden alterar la calidad de la carne. Por ello, el objetivo de la presente revisión tiene como fin analizar el periodo *antemortem* del búfalo de agua, bajo cuatro ejes, transporte, tiempo ideal de espera previo al sacrificio, métodos de aturdimiento idóneos y el efecto del estrés *antemortem* sobre los parámetros fisicoquímicos de la carne de búfalo de agua, bajo el fin de reconocer los puntos críticos y áreas de oportunidad que garanticen el bienestar de la especie y la calidad de sus subproductos.

Palabras Claves: *Bubalus bubalis*, *Búfalo de agua*, *transporte*, *reposo*, *estrés*, *matanza*, *calidad de muerte*, *métodos de aturdimiento*, *insensibilización*.

INTRODUCCIÓN

Para el año 2019 la población mundial de búfalos de agua se estimaba en 27,692,388 cabezas a nivel mundial, equivalente a 4,290,212 toneladas de carne (Di Stasio and Brugiapaglia 2021), cuyo contenido nutricional reporta menor contenido de ácidos grasos saturados, colesterol y en consecuencia más saludable en comparación con la carne de otras especies (Tamburrano et al. 2019; Bertoni et al. 2020a).

Regularmente, al término de la vida productiva del búfalo, éste es enviado a mataderos para su sacrificio. Durante este periodo, el animal se enfrenta a movimiento, ruido y olores desconocidos, el hacinamiento, el manejo, la privación de descanso durante la movilización, cambios en la jerarquía social, condiciones climáticas extremas, o inaccesibilidad al agua y alimento (Chambers and Grandin 2001; Gallo et al 2001; Salesse 2017; Padalino et al 2018; Carrasco-García et al 2020), mismos que pueden generar deshidratación, agotamiento, miedo, estrés, cambios metabólicos y daño muscular (Mota-Rojas et al. 2006; Alam et al. 2010; Costa et al. 2019).

Sumado a esto, el búfalo de agua presenta características anatómicas que lo diferencian del bovino convencional, como apófisis transversas más estrechas y puntiagudas con costillas con curvatura más pronunciada (Alapati et al. 2010), que podrían generar un impacto sobre el porcentaje de lesiones en la canal.

De igual forma, muestran senos frontales más anchos, lo cual podría dificultar el aturdimiento ante el disparo con perno cautivo en posición frontal (Alsafy et al. 2013; Meichtry et al. 2018; AVMA 2020; Mota-Rojas et al. 2021).

Aunado a la nula o poca evidencia sobre el tiempo ideal de espera previa al sacrificio, generan poco conocimiento sobre los puntos críticos para la obtención de carne de búfalo de calidad.

Por ello, el objetivo de la presente revisión tiene como fin analizar el periodo *antemortem* del búfalo de agua, bajo cuatro ejes, transporte, tiempo ideal de espera previo al sacrificio, métodos de aturdimiento idóneos y el efecto del estrés *antemortem* sobre los parámetros fisicoquímicos de la carne de búfalo de agua.

Considerando que dicho análisis contribuya a detectar los puntos críticos en los que fluctúa el bienestar de la especie y la repercusión de este sobre la calidad de la carne.

MARCO TEÓRICO

Al igual que el ganado del género *Bos*, el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) al cumplirse el peso de engorda, proceden a ser sometidos a una serie de procedimientos, que incluyen embarque, transporte, desembarque previo a su llegada al matadero, los cuales actúan como estresores acumulativos que podrían repercutir sobre el animal y la calidad de la carne (Mota Rojas et al., 2010a,b).

Durante este periodo, se muestra probabilidad de lesión, e incluso muestren lesiones previas, traumatismos de diferente grado e incluso fracturas o desgarres (Mota-Rojas et al., 2005, 2006, 2016; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Strappini, 2010; Strappini et al., 2013; Edwards-Callaway et al., 2019).

El transporte en muchas de las ocasiones es un ambiente novedoso para los animales y al encontrarse en un piso que se mueve por los cambios de velocidad

del chofer o en cubículos que generan ruidos extraños, es común ver que los animales se estresen y sobre todo por no tener control del ambiente que representa el vehículo (Mota-Rojas et al., 2005, 2006, 2012). Las condiciones en las que se realiza el transporte de los animales hacia las áreas de sacrificio pueden tener un fuerte impacto sobre el comportamiento animal, a tal grado de ser un factor en la presentación de conductas agresivas dominantes (Tarrant, 1990).

Sin embargo, el estrés y los golpes no terminan en el transporte, sino que continúan al entrar al cajón de noqueo, donde los animales se golpean en el lomo y dorso con la puerta tipo guillotina, sumado a malas prácticas por parte de los trabajadores al implementar: golpes en el tren anterior y principalmente en el posterior, palmadas, gritos y retorcimiento de cola para obligarlos a avanzar (Hultgren et al., 2014), así como el uso excesivo de arreadores eléctricos (Villarreal et al., 2001).

Este efecto acumulativo de esta etapa activa el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, generando la liberación de la hormona liberadora de corticotropina, que a su vez estimula la producción de ACTH, que al ingresar a circulación sanguínea estimulan la secreción de glucocorticoides (Mohankumar et al. 2012).

Por otro lado, una de las principales preocupaciones en la industria cárnica es la presentación de la carne DFD caracterizada por ser oscura, firme y seca (Prince et al., 1994), la cual muestra ser una carne con sabor y aroma débil en comparación a la carne normal, sin embargo, autores sugieren la presencia de sabor jabonoso, debido a la pérdida de precursores, resultado del estrés, o a causa de altos niveles de valor pH (Prince et al., 1994; Vartnam y Sutherland, 1998; Wulf et al., 2002; Guerrero Legarreta et al., 2002).

Dentro de los factores que propician un músculo DFD; son largos periodos sin alimento (ayuno prolongado) o fatiga causada por periodos prolongados de transportación de los animales bajo condiciones inadecuadas, las cuales pueden desencadenar peleas que ocurren cuando los animales de diferentes hatos se mezclan ya sea en el camión transportador o en los corrales de descanso (Silva et al., 1999; Grandin, 1997; Warris, 2000; Alarcón-Rojo y Janacua-Vidales, 2010; Pérez-Linares et al., 2008).

Por otro lado, es preciso mencionar que el término de conciencia hace referencia a la habilidad para interactuar, percibir y comunicarse con el ambiente y con otros seres (Zeman, 2001). Mientras que la inconciencia o mejor llamada insensibilización hace referencia a una alteración temporal o permanente de la función cerebral y

como consecuencia de esta interrupción, el animal es incapaz de responder a estímulos, incluso a los estímulos dolorosos (EFSA, 2006). Por su parte, la insensibilización se refiere a la completa inhabilidad de experimentar cualquier estímulo o sensación, ya sea placentera o dolorosa (Hemsworth et al., 2009).

Con ello, la finalidad del aturdimiento previo a la matanza es generar un estado de inconciencia o insensibilización hasta el momento de la muerte del animal (Gregory et al., 2010), para que de este modo se evite por todos los medios el dolor y el sufrimiento (Verhoeven et al., 2015).

Cabe mencionar que la insensibilización se produce inmediatamente por una combinación de contusión y cambios en la presión intracraneal (Barros y Castro, 2004). Cuando se aturde al animal, este sufre un colapso, deja o reduce su nivel de respiración y se muestra con la cabeza estirada, rígida y los miembros pélvicos flexionados hacia el abdomen. Dicho periodo de rigidez suele durar entre 10 y 20 segundos tras el aturdimiento (HSA, 2014).

Finalmente, es preciso mencionar que el aturdimiento puede o no ser reversible. De ser reversible, los animales pueden recuperar la sensibilidad antes de suscitarse la muerte. Dentro del sacrificio, el tiempo entre el aturdimiento y el desangrado ha sido considerado fundamental para evaluar la eficacia del aturdimiento (Tardio et al., 1999). Por esta razón, es importante señalar que las técnicas de aturdimiento que funcionan para algunos animales, para otros no son recomendables. Por ejemplo, la diferencia en los cráneos de vacas y búfalos hace que el aturdimiento en las vacas se pueda llevar a cabo con pistolas de perno de menos alcance que en el caso de los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), esto debido a que estos últimos tienen el cráneo más ancho, además de que los huesos y la piel son más duros (Schwenk et al., 2016).

OBJETIVO GENERAL

La presente revisión evaluó el bienestar del búfalo de agua durante el transporte, espera previa al sacrificio, aturdimiento y su relación con la calidad de la carne.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Se evaluaron y caracterizaron las contusiones de acuerdo con su forma, tamaño y color por efecto del transporte del búfalo de agua.
- II. Se analizó el periodo ideal de reposo previo a la muerte del búfalo de agua
- III. Se analizó el método de aturdimiento idóneo a través de los signos de retorno a la sensibilidad en el búfalo de agua
- IV. Evaluó el efecto de los factores *antemortem* en las alteraciones fisicoquímicas de la carne del búfalo de agua

METODOLOGÍA UTILIZADA

El presente documento se llevó a cabo bajo modalidad bibliográfica. Basado en una búsqueda exhaustiva en las bases de datos Web of Science, Science Direct, Scopus, Wiley Online Library y Taylor & Francis.

OBJETIVOS Y METAS ALCANZADAS

La presente revisión reitera el cumplimiento de los siguientes objetivos

Objetivo	Metas alcanzadas
Se evaluó y caracterizaron las contusiones de acuerdo con su forma, tamaño y color por efecto del transporte del búfalo de agua.	Se determinaron las lesiones predominantes en cuanto a forma, tamaño y color obtenidas durante el transporte.
Se realizó un análisis sobre el periodo ideal de reposo previo a la muerte del búfalo de agua.	El presente documento no encontró estudio alguno sobre el periodo de espera en el búfalo de agua, sin

	<p>embargo, la información recabada se consideró con base a evidencia evaluada en ganado bovino del género <i>bos</i>.</p>
<p>Se analizó el aturdimiento más idóneo evaluado a través de los signos de retorno a la sensibilidad en el búfalo de agua</p>	<p>Se transmitió la forma correcta de aturdimiento a través de la evaluación de los signos de retorno a la sensibilidad en el búfalo de agua</p>
<p>Evaluó el efecto de los factores <i>antemortem</i> en las alteraciones fisicoquímicas de la carne del búfalo de agua</p>	<p>La presente revisión no halló evidencia científica sobre las alteraciones fisicoquímicas por efecto del manejo <i>antemortem</i> , sin embargo, se apegó de forma considerable a evidencia evaluada en ganado bovino del género <i>bos</i>.</p>

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 1: Evaluar y caracterizar las contusiones de acuerdo con su forma, tamaño y color por efecto del transporte en el búfalo de agua.

CARACTERIZACIÓN DE CONTUSIONES EN EL BÚFALO DE AGUA POR EFECTO DEL TRANSPORTE

Resumen

El transporte de ganado es un proceso conocido por ser estresante para los animales que también puede causar lesiones en la piel. En el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), el efecto del transporte no ha sido ampliamente investigado; sin embargo, se han reportado altos porcentajes de traumatismos durante y después del transporte. Los factores involucrados corresponden a un diseño vehicular inapropiado que no atiende a las dimensiones recomendadas por los organismos internacionales (por ejemplo, altura del vehículo, tipo de pisos y características de la rampa). De manera similar, el manejo y la habilidad del personal para manejar a los búfalos también pueden afectar este evento. El reconocimiento de estos elementos podría ayudar a identificar los puntos críticos y áreas de oportunidad para sugerir estrategias que garanticen el bienestar de los animales para el futuro transporte y evitar el deterioro en la calidad de los subproductos derivados del proceso. En este sentido, esta revisión tiene como objetivo analizar la frecuencia de lesiones en la piel que pueden sufrir los búfalos de agua durante el transporte y el efecto de los factores que influyen en la frecuencia de las heridas. Asimismo, se discutirán sus consecuencias sobre la calidad de la canal.

Palabras claves: Injuries, bruises, carcass, transport, water buffalo

Introducción

El transporte constituye una de las fases por la cual los animales de abasto destinados a obtención de carne o leche se ven expuestos al menos una vez en su vida (Schwartzkopf-Genswein et al 2016). En búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) usualmente ocurre al término de su ciclo productivo, con el objetivo de transportarlos a los mercados ganaderos o mataderos (Chandra and Das 2001a; Mota-Rojas et al

2020a). La transportación implica la exposición de los animales a factores estresantes como el movimiento, ruido, olores desconocidos, el hacinamiento, el manejo, la privación de descanso durante la movilización, cambios en la jerarquía social, condiciones climáticas extremas, o inaccesibilidad al agua y alimento (Chambers and Grandin 2001; Gallo et al 2001; Salesse 2017; Padalino et al 2018; Carrasco-García et al 2020). Dichas condiciones pueden generar deshidratación y el agotamiento (Alam et al 2010a). Aunado a ello, el diseño del vehículo, el uso excesivo de arreadores eléctricos y objetos lesivos durante la carga y descarga, aumentan el riesgo de generar lesiones en los animales. Asimismo, la técnica de conducción del personal (el balanceo o el frenado repentino) (Broom 2008), la densidad de carga, tiempos prolongados de transporte y las condiciones de la carretera son otros factores relacionados con el incremento de lesiones (Strappini et al 2009; Alam et al 2010b; Lemcke 2015; Valkova et al 2021; Castro de Jesús et al 2021).

No obstante, la identificación causal de lesiones es un desafío, debido a que otros elementos inherentes a el animal también ejercen una influencia (Kline et al 2020). Entre éstos, se encuentran: la procedencia del animal, la cantidad de grasa corporal, el tiempo de espera (Strappini et al 2010) y el género (Alam et al 2010b).

Cabe señalar que las lesiones generadas durante el traslado de los animales son consideradas como un indicador de bienestar deficiente (Gallo et al 2001; Romero et al 2012). La presencia de lesiones tiene repercusión económica debido al retiro de las mermas por el recorte en la canal, tras la aparición de hematomas. Los hematomas, a su vez, ocasionan cambios bioquímicos y organolépticos en la carne, por acción de las aminas biógenas (cadaverina, putrescina e histamina, las cuales aceleran cambios deteriorantes en la canal como la putrefacción de la carne (Cruz-Monterrosa et al 2017). De la misma manera, disminuyen el rendimiento y valor de la canal, generando millones de dólares en pérdidas (Kline et al 2020).

Por ello, este estudio tiene como objetivo analizar el efecto de los factores relacionados al transporte y manejo durante el embarque y desembarque en la incidencia y tipo de lesiones en un animal vivo, su efecto en la canal y la calidad del producto final para reconocer los puntos críticos de control y áreas de oportunidad en futuras movilizaciones de búfalos de agua.

Clasificación de contusiones *antemortem*

Los factores a los que son expuestos los búfalos durante la carga y descarga representan la etiología en la presentación de heridas durante el proceso de transporte. Entre estos factores se consideran la densidad de carga, el confinamiento en vehículos de dimensiones reducidas y la capacitación del personal (Mendonça et al 2018). Al respecto, Alam et al (2010b) estudiaron la presentación de heridas tisulares en 192 búfalos del agua de la India y 368 de ganado bovino *Bos indicus* de las razas Haryana, exótica y local en un mercado ganadero Bangladesh después del transporte. De manera particular, los autores encontraron que los búfalos presentaron mayor porcentaje de heridas dérmicas que los bovinos (89% y 84%, respectivamente), siendo las abrasiones el principal tipo de lesión en el 73% de los animales (Alam et al 2010b). Estos porcentajes son similares a los mostrados por Gregory et al (2008), quienes reportan la presentación de lesiones dérmicas en un 99% y 84% en búfalos y bovinos, respectivamente. Igualmente, en un estudio posterior Alam et al (2020) determinan que la frecuencia de lesiones en búfalos de agua (75.4% de 138 individuos) fue mayor que la observada en 93 bovinos de la raza Haryana (68.4%). Ante esto, algunos autores refieren que la diferencia entre la cantidad de lesiones presentes en búfalos de agua en comparación con el ganado bovino, se atribuye a las diferencias morfológicas de ambas especies, como el tamaño de las pezuñas (Bertoni et al 2020b) o el tamaño del cráneo (Özkan et al 2019). De esta manera Alapati et al (2010) mencionan que en búfalas de la raza Murrah, las apófisis trasversas lumbares son más estrechas y puntiagudas, en comparación con el bovino, además de presentar costillas con una curvatura más pronunciada (Alapati et al 2010). Sin embargo, aunque dichas diferencias pueden asociarse a la frecuencia de lesiones durante la movilización, la estructura del camión y la densidad de carga también influyen en su presentación (García et al 2019; Ferreira et al 2020).

Asimismo, otros autores mencionan que la frecuencia de lesiones en búfalos puede deberse a un mal manejo durante la carga de los animales en mayor proporción en comparación con las generadas por efecto del transporte (Alam et al 2020). Al respecto, se ha demostrado que uno de los objetivos del personal es reducir los tiempos de embarque y desembarque y como los búfalos se mueven de manera más lenta que el ganado bovino convencional, se recurre al uso excesivo de

instrumentos como los arreadores eléctricos o golpes con palos (Alam et al 2010b). A pesar de que el uso de dichos instrumentos ha mostrado reducir el tiempo en el que los animales ingresan al vehículo (41 ± 30 segundos por cabeza) (Chandra and Das 2001a), estas agresiones pueden generar lesiones en la piel, además del daño a la canal y la consecuente pérdida económica.

Respecto a esto, Grandin (2010) menciona que el uso de arreadores eléctricos es más recomendable que emplear palos y golpear a los animales. Según la puntuación numérica de la Red de Calidad y Bienestar (Welfare Quality Network 2009) aplicable a establecimientos dedicados al sacrificio de animales, su uso debe restringirse a animales que rehúsen moverse, considerándose como un estándar industrial y con un parámetro deseable que entre el 5 y menos del 25% de ellos sean movilizados mediante arreadores eléctricos (Grandin 2012).

No sólo hay interés en contabilizar el porcentaje de lesiones, también se han caracterizado y clasificado en ocho categorías, de acuerdo con el tipo de lesión presente: abrasiones; laceraciones; lesiones penetrantes; ulceraciones; hemorrágicas; lesiones tumefactas; con hiperqueratosis; y cicatrizales. Como se aprecia en la Figura 1 se esquematiza el porcentaje de presentación de lesiones en búfalos del agua, de acuerdo con la clasificación de Alam et al (2010b).

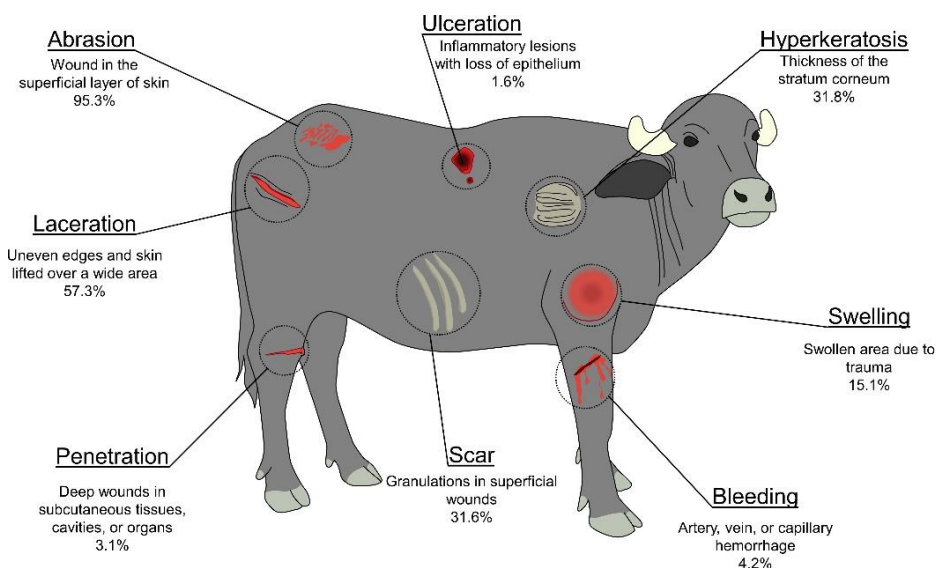


Figure 1 Frecuencia de ocho lesiones cutáneas diferentes (presentadas como porcentajes) en el búfalo de agua (*B. bubalis*) durante el transporte. Información recuperada de Alam et al (2010b).

De acuerdo con el estudio de Alam et al (2010b), las lesiones por abrasión fueron las más frecuentes de observarse en búfalos, con un 95.3%; las laceraciones representaron un 57.3%, y las de hiperqueratosis un 31.8%. En contraste, las que menos se observaron fueron las ulcerativas, penetrantes y hemorrágicas (1.6, 3.1, y 4.2%, respectivamente). Aunque no se encuentra incluido en la clasificación de Alam et al (2010b), Chandra y Das (2001a) propusieron una escala de evaluación basada en el Australian Carcass Bruising Scoring System para valorar la severidad de los hematomas en los animales antes del sacrificio. En esta escala se consideró el área de superficie (desde < 5 cm hasta > 10 cm) y el tipo de tejido lesionado (piel, músculos superficiales, músculos profundos, o lesiones musculares con hemorragias activas), para clasificar a las heridas como pequeñas, pequeñas-profundas, medianas, medianas-profundas, grandes, y grandes-profundas. En este estudio, 244 hematomas fueron observados en 100 búfalos del agua, siendo las lesiones más comunes las pequeñas-profundas, con un 59.0%, seguido de las medianas con un 19.3%.

Asimismo, el tipo de herida y la frecuencia de presentación también depende de la zona a evaluar. En el caso de los búfalos del agua y los bovinos convencionales, su identificación se ha realizado en 11 zonas corporales clave: cabeza, cuello, miembro torácico, tórax, abdomen, cadera, glúteos, miembro pelviano, genitales externos, dorso, y cola (Alam et al 2010b). En promedio, la zona con mayor presentación de lesiones de todo tipo fue la región de los glúteos. De este modo, el mayor porcentaje de lesiones abrasivas (61.9%) se encontró en los glúteos, seguido de las caderas, el dorso, y miembros pelvianos (48.4, 47.3, y 25.5%, respectivamente). Las laceraciones fueron más comunes en la región glútea (17.7%), el dorso (16.1%), las caderas (15.6%), y el miembro torácico (9.9%); mientras que en el cuello y el tórax no se observaron heridas hemorrágicas, ni inflamatorias en la cola. Estos resultados son similares a lo reportado en búfalos del agua transportados en un viaje corto de 20 km en 30 min a una velocidad de 40 km/h y una densidad aproximada de 0.6 m² por animal. La mayoría de los hematomas se observaron en el miembro pelviano (43.4%), el abdomen y la región de la ubre (21.3%), mientras que en los hombros, el cuello y el lomo (16.0%), y en la región perianal (11.1%) el porcentaje de frecuencia fue menor (Chandra and Das 2001a). La Figura 2 ilustra la comparativa entre los

datos descritos en búfalos y su comparación con los reportados en bovinos convencionales, en torno a la frecuencia de presentación de heridas por laceración.

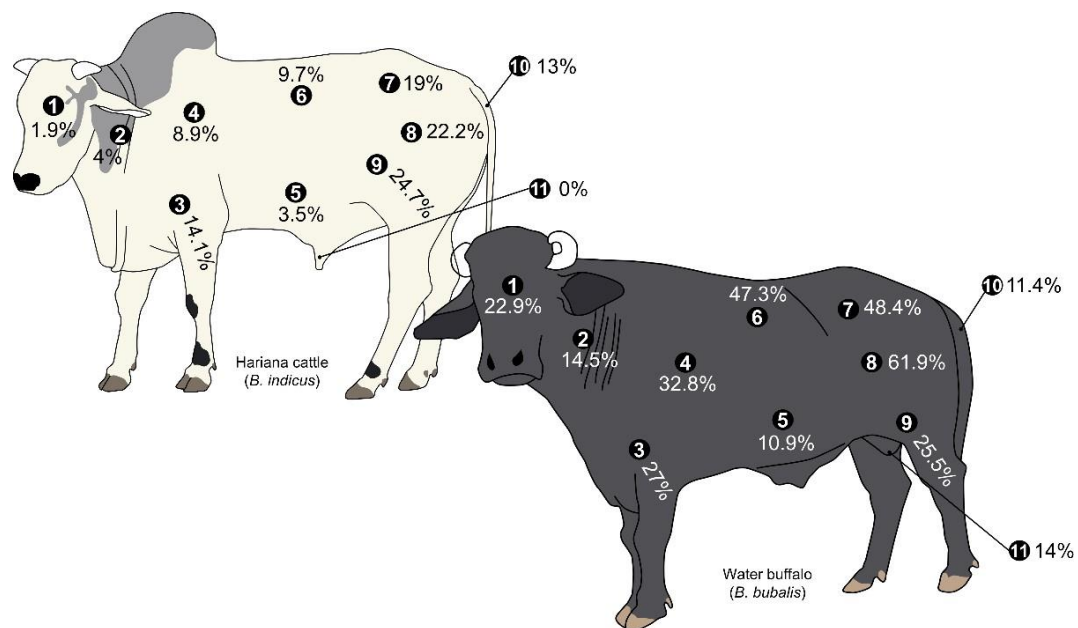


Figure 2 Comparación de frecuencia de presentación de lesiones cutáneas por laceración en bovinos (*Bos indicus*) y búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), según las regiones corporales identificadas por Alam et al (2010b). 1: Cabeza; 2: cuello; 3: miembro anterior; 4: tórax; 6: espalda; 7: abdomen; 7: cadera; 8: glúteo; 9: miembro posterior; 10: cola; 11: genitales externos.

Sumado a esto, Alam et al (2010b) y Kober et al (2014), reportan mayor porcentaje de abrasiones en el búfalo, con una diferencia de hasta 33.6% respecto al ganado bovino. Asimismo, ambos autores concuerdan en que el búfalo muestra mayor porcentaje de laceraciones (57.3 y 70.5% vs 32.3 y 28.5%). En cuanto a las lesiones sangrantes, en búfalos su frecuencia es mayor en comparación con el ganado bovino (2 y 4.3% vs 4.2 y 9%), con una diferencia de poco más del 50%, mientras que las lesiones tumefactas, se expresan en mayor medida en el búfalo por más del doble que lo indicado en ganado bovino, (15.1 y 23.1% vs 4.9 y 3.8%); sin embargo, el porcentaje de cicatrices en ambos estudios sugiere que el ganado bovino tiende a exhibir un incremento en la frecuencia de presentación (59.5 y 66.5%) en contraste con el búfalo de agua (31.6 y 41%).

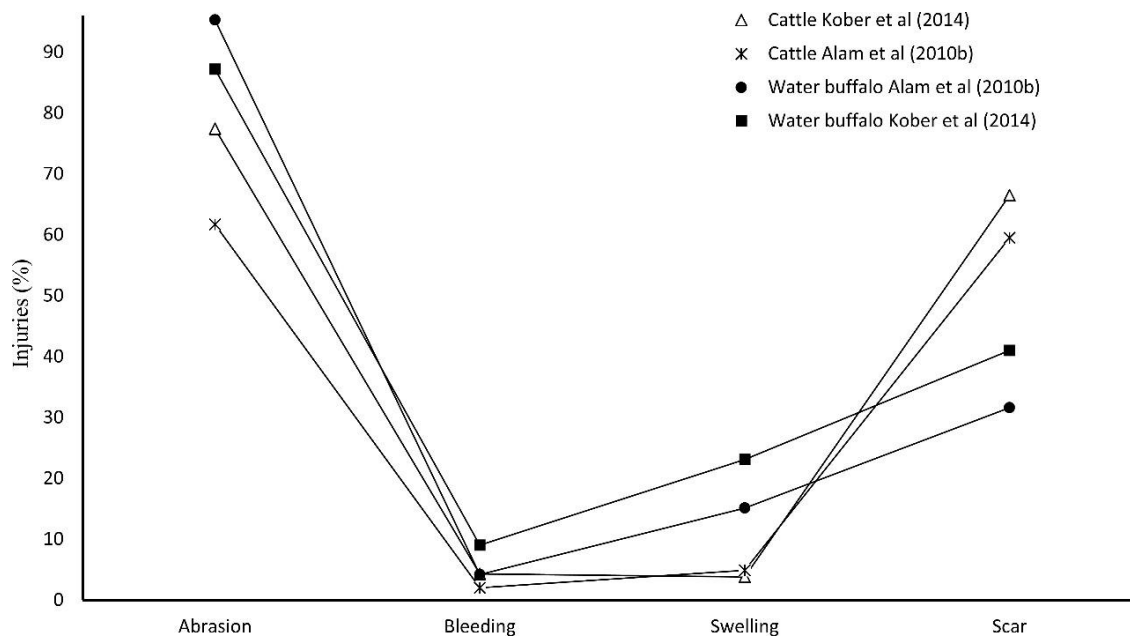


Figure 3 Porcentaje de lesiones informadas por Alam et al (2010b) y Kober et al (2014) en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) y bovinos (*Bos indicus*).

Una de las razones por las cuales se observan con mayor frecuencia las lesiones en la región caudal de los búfalos, en comparación con las del ganado *Bovidae*, se debe principalmente a un mal manejo por parte del personal que suele emplear palos para golpear excesivamente en la cadera, la región glútea y la perineal y obligar al animal a moverse, lo cual también responde a un factor cultural en el que los búfalos del agua y sus subproductos valen menos que el ganado bovino (Alam et al 2010b). Del mismo modo, las lesiones en el lomo y el dorso podrían estar relacionados con puertas de deslizamiento vertical ubicadas junto al cajón de noqueo (Mota-Rojas et al 2020b).

Además, en la zona de la nariz y la cola también se ha reportado una frecuencia de lesiones. A partir de un trabajo con 192 búfalos de agua, se encontró que el 54% de los búfalos mostraba perforación de la nariz y con ello, lesiones por frotamiento o desgarre de las fosas nasales a causa de cuerdas nasales colocadas a través del orificio perforado. Empleando la clasificación mencionada, según el tipo de herida, el 58.3% fueron laceraciones, el 34% ulceraciones, el 4.8% heridas sangrantes, y el 2.9% cicatrizantes (Alam et al 2010c). Alguna de las causas a las que se atribuyen dichos porcentajes son, en su mayoría, debidas a un mal diseño del vehículo que genera que los animales se golpeen o friccionen contra estructuras puntiagudas. En estos casos, los animales presentan marcas de apoyo en los hombros o el cuello

(zonas donde se recargan o friccionan contra el vehículo). Igualmente, la técnica de manejo del conductor del vehículo, al cual se le ha atribuido el 59% de las heridas, la alta densidad de animales movilizados, y el uso de sogas para amarrar a los animales de la nariz, las piernas o el cuello a las paredes, y la fricción de las mismas, son otro grupo de elementos que pueden generar abrasiones y laceraciones en los búfalos (Alam et al 2010b). Las caídas que los búfalos pueden sufrir durante el viaje, o los intentos de saltar o huir del camión también han sido reportados como etiologías de las lesiones. En el estudio de Chandra and Das (2001b) con 100 búfalos, la frecuencia de animales que perdieron el equilibrio, se tropezó o fueron incapaces de mantenerse de pie en el vehículo, se atribuyó a un mal manejo con constantes frenados, choques, arrinconadas, o aceleradas (Chandra and Das 2001b). De manera similar, las caídas durante la descarga de los animales se deben a rampas con pisos resbalosos que pueden generar lesiones en los animales. En torno a esto, si más del 1% de los animales resbala o se cae durante la movilización, se considera como un punto crítico de bienestar que la intervención e implementación de acciones correctivas (Grandin 2010).

Otra de las causas ha sido mencionada por Strappini et al (2013), quienes evaluaron hematomas en vacas (cruzas de Friesian rojo y negro), mediante la filmación durante el viaje en el transporte y el alojamiento, carga, descarga y la entrada de los animales al cajón de aturdimiento. Sus resultados indican que del 100% (1792) de los eventos potenciales para la presentación de hematomas, el 91.2% surgió durante la espera previo al sacrificio, el 5.4% en el cajón de aturdimiento, 2.5% durante la carga, el 0.4 durante el transporte y el 0.5% en la descarga. En el mismo estudio, el 99.7% de los hematomas originados durante la carga, el 75% en la descarga y 51.5% de los hematomas en el cajon de aturdimiento sucedieron a causa de la deficiente interacción humano- animal. Durante el arribo, se identificó que el 23% de los hematomas se originó a causa de pinchazos con palos, mientras que, en el cajón de aturdimiento, se identificó que el impacto con objeto contundente provocó el 36% de los hematomas.

En caso contrario, el 99.7% y 71.4% de los eventos durante la espera y el transporte, respectivamente, se relacionaron como causa de la interacción animal-anima, por ejemplo, cabezazos, el contacto con los cuernos, las estampidas y montas.

Finalmente, como menciona Grandin (2017a), el evaluar las lesiones por regiones o severidad implica que el personal encargado esté capacitado y sea capaz de reconocer una lesión reciente y su etiología. En el caso de búfalos del agua, a la fecha, no existe un sistema de puntuación como en el caso de los bovinos (*B. taurus* y *B. indicus*) (McKeith et al 2012) o cerdos (Nielsen et al 2014); no obstante, esto no exime al personal realizar un adecuado manejo, de acuerdo con la especie, y una correcta identificación de las malas prácticas.

Evaluación de lesiones *post-mortem*

La evaluación de los hematomas en el matadero son un reflejo de las condiciones de manejo del ganado previo al sacrificio. Ante esto, se han desarrollado diversas puntuaciones en la canal, mediante la valoración visual de las lesiones para definir la extensión, lugar, color, aspecto y gravedad (Strappini et al 2009).

Se reconoce que un hematoma es una lesión tisular en la cual el tejido ha sido oprimido, generando la ruptura de capilares y el depósito de sangre y suero, sin una discontinuidad dérmica (Trigo 2017; Mendonça et al 2018). Dichos hematomas, se han reportado como una de las principales consecuencias de remoción de tejidos post mortem (Chandra and Das 2001a). Su frecuencia está predispuesta a condiciones de manejo durante la carga, descarga, el traslado dentro del vehículo y la distancia, incluyendo factores propios del animal, como el sexo del individuo, temperamento, edad, presencia de cuernos e incluso el genotipo del animal (Bethancourt-García et al 2019).

Actualmente es escasa la información derivada del análisis de las lesiones *post-mortem* en la canal de búfalo de agua. Sin embargo, estudios como el desarrollado por Strappini et al (2012) que describen aspectos generales de los hematomas de vacas lecheras provenientes de granja o mercados ganaderos podrían ser la base para el estudio en búfalo. Los autores reportaron a la inspección *postmortem* el número de los hematomas, sitio anatómico, severidad, forma, tamaño y color basándose en el protocolo ACBSS (Australian Carcass Bruising Scoring System) y la clasificación chilena estándar de hematomas en la canal. Al respecto, indicaron que las canales que habían pasado por un mercado ganadero mostraron 3.8 hematomas por canal en contraste con el 2.5 de aquellos animales provenientes de granja, cuyos resultados podrían estar relacionados con la calidad humano-animal,

el cual involucraría múltiples viajes, descargas y un periodo adicional de manipulación (Strappini et al., 2012).

De igual forma, los autores reportaron a la punta del isquion como el área más afectada (26.5% del total de los hematomas), probablemente a causa de la colisión con estructuras como costados de vehículo y al uso de palos para arrear. La segunda área más afectada fue la espalda (21.8%), probablemente a causa de colisiones con estructuras superiores en los vehículos de movilización o puertas de guillotina, usadas a la entrada de animales al cajón de noqueo, previo aturdimiento, generando además respuestas negativas en los parámetros propuestos en la evaluación del bienestar animal en plantas de sacrificio (Mota- Rojas et al 2020c).

Con base en su forma, los investigadores describieron a los hematomas como: circular (circunferencia delimitada), lineal (se muestra en línea recta), vías de tren (presencia de dos líneas paralelas), puntillado y formas irregulares. Dentro de esta descripción, los resultados indicaron que el 91% de los hematomas mostraba forma irregular, el 3.8% mostraba forma lineal, el 3.1% circular y el 1.9% con forma de vías de tren, este último sólo fue notada en animales provenientes de mercados ganaderos y su forma podría estar relacionada con el uso de palos de madera (Strappini et al., 2012).

La valoración del tamaño de los hematomas se realizó en función del diámetro: pequeño (>2 y <8cm), mediano (8 y <16 cm) y grande (16 cm). Se determinó que el 60.4% de ellos correspondían a hematomas pequeños, seguido se hematomas medianos (32%) y solo el 7.6% a hematomas grandes (Strappini et al., 2012).

El 66.2% de los hematomas fueron de grado 1 (afección en tejido subcutáneo, lesiones poco perceptibles), sin reportes de grado 3 (extensión hacia tejido óseo y muscular). Sin embargo, los autores encontraron una relación con la cantidad de grasa del animal, donde animales sin cobertura de grasa, tienden a mostrar más riesgo de presentar hematomas (Strappini et al., 2012).

En cuanto al color, los autores consideraron la coloración rojiza, como un hematoma reciente; azulado oscuro, como una lesión vieja; y amarillenta, como más antigua. Los resultados mostraron que el 70% de los hematomas eran de color rojo brillante, deduciendo de este modo el sitio de origen, que pudo ser durante el transporte, la descarga o en la espera en el matadero o bien algún otro manejo realizado dentro

de las 24 a 48h previas al sacrificio. Asimismo, el 29.4 % de los hematomas presentó coloración azulada y solo el 0.2% amarillas, las cuales reflejarían mayor tiempo de evolución; sin embargo, Strappini et al (2012) consideran que, al ser una medida subjetiva, podría ser poco confiable, indicando que podría ser más exacta si se combina con eventos previos al sacrificio, a fin de conocer el momento en el que se originaron (Strappini et al 2012).

Los resultados anteriores muestran que uno de los puntos críticos para la presentación de hematomas es el origen (granja o mercado ganadero), ante este hecho, y con base en los hallazgos de Alam et al (2010b), al observar mayor frecuencia de presentación de hematomas en el búfalo en contraste con el bovino, podría explicarse por una mayor probabilidad de ambientes con eventos estresantes y a su vez, mayor presentación de la carne DFD (Carrasco-García et al 2020). Este defecto en la carne se debe a un aumento del valor de pH, iniciado por glucólisis anaerobia y consecuente producción de ácido láctico, asociado a estrés crónico, que conjuga un efecto de estresores acumulativos en el proceso *antemortem* (ayuno, embarque, desembarque, transporte y el manejo negativo con uso de objetos lesivos o gritos) (Fabio et al 2020).

De hecho, Kline et al (2020), estudiaron de forma individual la descarga hasta el procesamiento *antemortem*, en vacas, toros y novillos a término en diversos mataderos. Los animales fueron trasladados mediante diferente 2 tipos de remolque: de dos pisos y de un piso. Los resultados mostraron que el ganado transportado en el piso inferior presentó más hematomas en comparación al piso superior del remolque de dos pisos (46.8% vs 33.2%). Esta diferencia podría estar relacionada con la colisión contra la estructura sobresaliente durante la carga.

Al evaluar las condiciones de la canal, se determinó mayor frecuencia de hematomas a lo largo de la línea medial dorsal y en la grupa; lo cual se puede explicar como posible causa el diseño del remolque, el uso inadecuado de las puertas y el tamaño del animal. De este modo, el estudio muestra que el tipo de remolque influye sobre la probabilidad de presentar hematomas (Figura 4).

Asimismo, estos resultados son similares con lo observado por Alam et al (2010b), al mencionar que el frotamiento contra la pared interna de los vehículos influye sobre la presentación de lesiones en el búfalo de agua.



Figure 4 (A) y (B) Densidad de carga y tipo de vehículo utilizado durante el transporte de búfalos de agua, con estructuras tubulares superiores con al menos 30 cm por encima de la altura del búfalo (dimensiones recomendadas por la FAWC (2019)). (C) Comparación de vehículos utilizados para el transporte. Independientemente de sus características, se mantienen la altura y dimensiones recomendadas para evitar lesiones durante los procesos de carga y descarga.

Por otro lado, se ha reportado un aumento de hematomas en los vehículos con uso de remolque. En donde, los vehículos de mayor tamaño aumentan la fuerza centrífuga en el centro de la carrocería del camión, lo que provoca mayor pérdida del equilibrio y aumenta el riesgo de caídas (Mendonça et al 2018), con la consecuente presentación de lesiones. Al respecto, se ha realizado el análisis de la densidad que debería mantenerse acorde con el peso de los animales, reportando que animales de 400, 450 y 500kg requieren 1.16, 1.26 y 1.35 m² respectivamente, lo cual evitaría la presencia de lesiones generadas por tratar de mantener el equilibrio, sobreposición de animales, disminuyendo a su vez estrés, caídas y fatiga en los individuos movilizados (FAWC 2019; González et al 2012). En caso de no tomarse en cuenta, una alta densidad de carga podría generar menos espacios abiertos (Figura 4B) para que el animal realice posturas seguras. La falta de espacio conlleva a que sea imposible para el animal colocarse de pie en caso de caer y con ello resultar pisoteado (García et al 2019(Figura 5A) Por el contrario, una densidad

de carga baja podría contribuir a que los animales tengan menos equilibrio y apoyo de sus conespecíficos durante el viaje, sin embargo, poseen espacio suficiente para recuperar el equilibrio o, en caso de caída, la oportunidad para ponerse de pie (Figura 4A).

Aunado a lo anterior, las características físicas del vehículo intervienen directamente sobre la presentación de lesiones. Con base en los hallazgos de Alam et al (2010b), el sitio anatómico más afectado es la región glútea, la cual podría generarse debido a la presencia de postes sobresalientes, bisagras, clavos o tornillos en las puertas (Mendonça et al 2018), que provoquen el contacto y la lesión con esta región (Figura 5B).



Figure 5 Lesiones cutáneas en búfalos de agua por transporte. (A) Durante la descarga de los animales, pueden ocurrir caídas debido a una rampa empinada o a un piso resbaladizo (B) La laceración en la región caudal de los búfalos es una de las lesiones más frecuentes observadas en esta especie (C) Búfalos esperando el sacrificio, mostrando laceraciones bilaterales cerca del corvejón. Las lesiones en las extremidades posteriores son frecuentes debido a caídas o al diseño del vehículo.

Finalmente, cabe mencionar que hay factores propios del animal que influyen sobre la presentación de hematomas, como la cantidad de grasa del animal. Sin embargo, también se ha demostrado que el género influye sobre la prevalencia de hematomas (García et al 2019; Bethancourt-García et al 2019), esto tomando como base un estudio realizado en búfalos de agua y ganado bovino, que determinaron mayor prevalencia de abrasiones en el 93.2% de las hembras en comparación al 69.7% de los machos (Alam et al 2010b). Este efecto, podrían deberse al comportamiento materno exhibido y efecto consecuente de defender a la cría, así como malos tratos en el pasado, dentro de los cuales las hembras muestran mayor susceptibilidad a padecer malos tratos por parte del personal (García et al 2019).

Perspectivas

Actualmente, la literatura en torno a las lesiones y evaluación de puntos críticos durante la movilización de búfalos del agua es limitada. No obstante, los escasos estudios muestran la necesidad de determinar puntos críticos durante la movilización de búfalos, crear estrategias para favorecer un correcto manejo (tales como el número de animales, tipo de vehículo utilizado y duración del traslado), y estudios etiológicos de las lesiones en ganado bufalino generadas durante su transporte, para disminuir la presentación de lesiones, contribuir en la mejora del bienestar del búfalo y, a su vez, reducir las pérdidas económicas.

Por ello, es importante considerar el manejo del personal como uno de los más importantes puntos críticos. Ante las alternativas para la reducción en la presencia de hematomas, se ha sugerido la necesidad de adoptar programas de formación profesional. La capacitación del personal para detectar la zona de huída que permita mover a los animales de manera cuidadosa, sin la necesidad de emplear palos o arreadores eléctricos es una estrategia simple que permite agilizar la carga y descarga de animales (Broom 2008). Asimismo, la supervisión y mejora de las técnicas de manejo (Brennecke et al 2020), la implementación de estrategias y diseño de estructuras, y la capacitación del personal deben considerarse (Strappini et al 2013). Del mismo modo, el conocimiento sobre el temperamento y comportamiento de los búfalos de agua podría considerarse otro método para prevenir lesiones. Si el personal es capaz de identificar que un animal se encuentra estresado frente a su entorno, mediante la observación de cambios de comportamiento durante la movilización (como el congelarse, echarse hacia atrás, intentar huir o vocalizar constantemente), pueden servir como indicadores para mejorar el arreo (Broom 2000).

Todos aquellos eventos que se generen dentro del vehículo como golpes en la estructura del remolque durante el traslado, número de caídas, la velocidad e incluso el subministro de descansos ante trayectos prolongados, deberán ser identificados y mejorados. Se ha observado que el diseño del vehículo es un elemento fundamental para la prevención de lesiones. Por ejemplo, para facilitar el movimiento de los animales se recomiendan vehículos con esquinas redondeadas, suelos antiderrapantes, pisos planos o ligeramente inclinados hacia arriba; mientras

que, durante la movilización de animales, es recomendable que la rampa no exceda los 20° de inclinación (Broom 2008).

Mencionando lo anterior, se deben implementar los protocolos que incluyan diversas medidas preventivas, procesos de monitoreo y optimización para evitar la frecuencia de lesiones y con ello, disminuir las deficiencias en el grado de bienestar animal, aspecto que ha sido reconocido por los consumidores finales que además tiene un impacto económico negativo en la industria cárnica (Gallo and Huertas 2016; Velarde and Dalmau 2012). Por ello se han generado estándares de bienestar que incluyen la fase de movilización en el ganado que suelen ser más estrictos y completos que los establecidos en la legislación de cada país (Grandin 2010).

Sin embargo, en la producción de búfalos de agua aun no existen protocolos específicos en relación a ello, no obstante, Wigham et al (2018) analizaron los documentos relacionados con la evaluación del bienestar animal de bovinos en unidad de producción, durante movilizaciones y previo-durante la matanza de animales, al respecto indican que, un protocolo ideal debe incluir procedimientos indicativos y sensibles a cambios reales en el bienestar, mencionando la importancia de una correcta capacitación y evaluación del desempeño de manejadores debido a que esta interacción es una de las más perjudiciales cuando no es llevada de manera correcta (Costa et al 2006; Sandstrom, 2009; Stappini et al 2013). Con ello, la implementación de certificaciones y programas mundialmente aceptados podría generar un impacto económico positivo con mejoras continuas enfocadas en el bienestar, disminución en la presencia de lesiones, mejorar las características de la canal y calidad de la carne.

Conclusión

La presencia de lesiones es utilizada como un indicador de bienestar disminuido. Además, los hematomas son la principal causa de remoción de tejidos *post-mortem*, originada al suscitarse un traumatismo, lo cual conlleva al escape de la sangre hacia tejido subcutáneo intraarticular o en un órgano, el cual está predispuesto a diversos factores externos y propios del animal.

Asimismo, el búfalo de agua muestra mayor frecuencia de abrasiones, en contraste a ganado bovino convencional, quizás debido a las diferencias anatómicas entre

ambas especies, como las apófisis trasversas lumbares más estrechas y puntiagudas en comparación con el bovino.

Por ello, se ha imprescindible reducir los factores externos al animal, como el diseño del vehículo, los métodos de arreo, carga y descarga; así como la densidad de carga para evitar la presencia de lesiones desde las abrasiones hasta los hematomas profundos e implementar protocolos que sean incluidos en la legislación de cada país que cría búfalo de agua; por lo que se hace necesario seguir desarrollando estudios que analicen los factores relacionados con la presencia de lesiones en el búfalo de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 2: Analizar cuál es el periodo más adecuado de reposo previo a la muerte del búfalo de agua.

PERÍODO ADECUADO DE REPOSO PREVIO AL SACRIFICIO DE BOVINOS. PERÍODOS LARGOS VS CORTOS

Resumen

Actualmente existe una discusión sobre el tiempo idóneo de reposo previo a la matanza bovinos, ya que, periodos largos tienden a relacionarse con el incremento en la frecuencia de presentación de corte oscuro en la carne; sin embargo, tiempos de espera relativamente cortos podrían no ser suficientes para la recuperación fisiometabólica del animal tras el viaje al matadero. Por ello, la presente revisión tiene como fin analizar y discutir el periodo más adecuado de descanso tras la llegada al matadero, evaluando para ello los parámetros fisiológicos.

Palabras claves: lairage, fasting, cortisol, glucose, lactate dehydrogenase, dark cutting

Introducción

El manejo previo a la matanza en animales de abasto está asociado a una serie de eventos estresantes (Moura et al. 2021; del Campo Gigena et al. 2021). Uno de ellos lo representan la zona de espera en el matadero. Estos espacios, son instalaciones en las que los animales son manipulados dentro del matadero. Estas zonas son utilizadas comúnmente para la retención de los mamíferos destinados al abasto, antes del faenado. Tienen tres objetivos: garantizar un flujo constante de animales para la matanza; permitir la recuperación del estrés a causa del transporte y la descarga, así como realizar inspección *antemortem* (Barton Gade and Barton-Grade 2004; Liotta et al. 2007; Santé-Lhoutellier and Monin 2014; Imlan et al. 2020). Sin embargo, en estos corrales, los animales pueden estar expuestos a estímulos ambientales novedosos, miedo, estrés, deshidratación, cambios metabólicos inducidos por el ayuno y daño muscular a causa del hacinamiento excesivo o un esfuerzo muscular pronunciado (Mota-Rojas et al. 2006; Alam et al. 2010a; Costa et al. 2019).

Cabe señalar que, por efecto del viaje previo a la llegada al matadero, los animales llegan agotados en sus reservas energéticas. Al respecto, Alam et al. (2010a), al realizar un análisis de los parámetros bioquímicos en muestras sanguíneas de búfalos de agua y bovinos convencionales inmediatamente después de su descarga al matadero tras un viaje de 300–600 km en 10–15 h. Sus resultados indicaron que el 90 % de los búfalos y el 86% del ganado eran hipoglucémicos; sin embargo, la concentración promedio de glucosa fue más alta en búfalos (5.8 vs 5.1 mmol L⁻¹). Por el contrario, la concentración promedio de creatinina quinasa fue más elevada en el ganado bovino (130.5 vs 83-6 U L⁻¹). Dentro de este parámetro, los ácidos grasos no esterificados (NEFA) y la creatina quinasa (CK) se mantuvieron por encima de los parámetros normales en el 100% de los bovinos y el 84% de los búfalos. Asimismo, se determinó que el 72% de los animales eran hipernatrémicos y el 10% hiponatrémicos. Finalmente, la proteína total rebasó el límite máximo en el 100% de los bovinos y en el 96.5% de los búfalos (Alam et al. 2010a). Sus conclusiones sugieren la vulnerabilidad de los animales al mostrar deshidratación, estrés y daño muscular.

Con el fin de restablecer homeostasis de los animales posterior a su transporte, se ha implementado el denominado periodo de descanso previo al sacrificio, que supondría el restablecimiento de las concentraciones de glucógeno muscular, la disminución de la deshidratación y la recuperación del estrés físico y emocional (Costa et al. 2019).

Sin embargo, actualmente existe una controversia sobre el tiempo necesario de espera al sacrificio para garantizar la homeostasis de los animales destinados al abasto con el fin de obtener un pH idóneo en la calidad de la carne. En este sentido, se ha demostrado que periodos largos de tiempo tienden a relacionarse con la incidencia de corte oscuro en la carne (Ahsan et al. 2014; LI et al. 2018; Clariget et al. 2021). Esta información también es un requisito en la legislación de algunos países. Tal es el caso de los lineamientos en Suiza que indican que bovinos, ovinos, caprinos y porcinos deberán ser sacrificados a más tardar cuatro horas después de su llegada al matadero (Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office 2014). Aun cuando sea un requisito legal de cumplimiento obligatorio, ese periodo podría no ser suficiente para la recuperación del animal (Costa et al. 2019).

Por ello, la presente revisión tiene como fin analizar y discutir el periodo más adecuado de descanso en búfalo de agua, tras la llegada al matadero, evaluando para ello los parámetros fisiológicos

Espera previa al sacrificio y el efecto del ayuno

El ayuno *antemortem* usualmente es utilizado para reducir la contaminación microbiana e incrementar la tasa de sobrevivencia de los animales para abasto ante temperaturas ambientales excesiva, generalmente ante climas cálidos (O'Neill et al. 2018). Usualmente, el manejo previo a la llegada del matadero incluye ayuno prolongado que puede implementarse desde la granja hasta que son sacrificados.

Durante el ayuno, el animal comienza a presentar una disminución en los niveles de glucosa sanguínea. En estas condiciones se genera un aumento en la producción de la hormona glucagón para incrementar los niveles de glucosa. Esta hormona posee receptores en el hígado que, al unirse, inician la degradación del glucógeno para la obtención de glucosa y fosfato inorgánico. Sin embargo, si las condiciones de ayuno se prolongan en el tiempo, se agotan las reservas de glucógeno, en esta situación, el organismo opta por el uso de tejido adiposo y proteína para la obtención de energía bajo el proceso de gluconeogénesis (Herdt 2020; Sanvictores et al. 2021).

El efecto del ayuno ha sido estudiado recientemente por Clariget et al. (2021), en Uruguay, al evaluar diferentes periodos de ayuno sobre los parámetros fisiológicos en novillos de dos razas Hereford y Angus y el efecto del lugar en el que ocurría el ayuno. Para ello, realizaron dos experimentos, para el primero de ellos, los investigadores distribuyeron a los individuos en tres tratamientos: Periodos largo de 26h de ayuno en matadero (9 h en la granja + 4h de transporte + 13 h de estabulación); periodo corto de 6h de ayuno en granja (4h de transporte + 2 h de estabulación); y 26 horas de ayuno en granja (20 h en la finca + 4 h de transporte + 2 h de corral). Asimismo, se incluyó la evaluación de 250 novillos Hereford y Angus para asignarlos al azar a dos grupos: ayuno de 24 h (9 h en la granja +1 h de transporte + 14 h de estabulación) y ayuno de 3 h (1 h de transporte + 2 h de estabulación) (Clariget et al. 2021).

Los resultados del análisis hematológico demostraron que la concentración de proteínas totales se mantuvo por encima del rango normal (5,7 a 8,1 g / dl) en todos los grupos; sin embargo, en novillos con periodos de ayuno prolongados estos valores eran más evidentes. Los resultados se podrían explicar debido a la hemoconcentración generada por una menor ingesta de agua, lo cual podría además provocar un mayor grado de deshidratación, aunado con junto bajos niveles de hematocrito. Otros estudios, también han reportado la presencia de hipovolemia leve, a causa de los aumentos de albúmina, proteínas totales y globulinas séricas después de las 48h de ayuno (Ortolani et al. 2020). Asimismo, se ha demostrado que los niveles de lactato deshidrogenasa aumentan significativamente ante ayunos prolongados (24h), en comparación con ayunos cortos de 3h. Este hallazgo se puede explicar debido a una reposición más lenta de glucógeno en ausencia de alimento (Clariget et al. 2021).

Otros estudios han indicado que el ayuno de 48h provoca hipoglucemia moderada, acompañada de un aumento en la lipólisis y en consecuencia un ligero aumento en la concentración sérica de β hidroxibutirato (HB) de origen cetónico, sin que se produjera cetonuria, ni lipólisis hepática en novillos mestizos (Ortolani et al. 2020). Lo cual podría indicar que, a las 48h de ayuno, el animal presenta la movilización de los ácidos grasos (ácidos grasos no esterificados) procedentes del tejido adiposo (Herdt 2020). También se ha reportado que la reducción del tiempo de ayuno puede generar hasta un 1.2% adicional de peso en kilogramos a la canal (Clariget et al. 2021). Ello sugiere que el ayuno prolongado, repercute negativamente sobre el animal, en contraste con los periodos de ayuno corto.

En lo que respecta al comportamiento en matadero, en ambos experimentos, los animales con periodos de ayuno largos con una espera promedio de 12 a 13h tendieron a beber menos agua (2.5L/animal) (Clariget et al. 2021). La disminución en la frecuencia en el comportamiento de beber agua se relacionó con la poca familiaridad con las instalaciones, que a su vez genera un aumento de estrés y consecuentemente la inhibición del eje renina angiotensina-aldosterona (Clariget et al. 2021; del Campo Gigena et al. 2021).

Evidencia científica de los periodos de espera cortos vs largos sobre el bovino

Incremento en los niveles de creatina quinasa y lactato deshidrogenasa

El incremento en la actividad enzimática como resultado del reposo es una constante en los animales destinados al abasto. Enzimas tales como creatina quinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) en los animales sometidos a condiciones específicas de espera previa al sacrificio han sido de especial interés. La enzima LDH cataliza la conversión de piruvato a lactato durante la glucólisis anaerobia (Washington and Van Hoosier 2012); mientras que altos niveles de CK infieren daño muscular (Kerr 2002). De esta forma, la liberación de LDH y CK a torrente sanguíneo podrían suponer daño muscular o ejercicio vigoroso (como un intento de hacerle frente a las variaciones ambientales); por ello, la detección de estas enzimas en sangre ha fungido como indicadores de bienestar en ganado bovino (Chulayo and Muchenje 2017).

Dichos marcadores han sido evaluados por Chulayo y Muchenje (2017) para exponer el efecto de la espera previa al sacrificio, tras la valoración de varias razas bovinas (Holstein-Friesian, Charolaise, Beefmaster e inespecíficas) en viajes con diferentes distancias y periodos de espera previo a la matanza (con agua *ad libitum* y sin alimento). Los resultados del estudio indicaron que ante la exposición a grandes distancias (877 km con 14h de descanso; 922 km con 22h de descanso; 1263 km con descanso de 14h) se mostraban niveles más altos de CK, en comparación con los animales mantenidos en transporte con distancias más cortas (366 km con 12h de descanso y 1012 km con 22 horas de descanso).

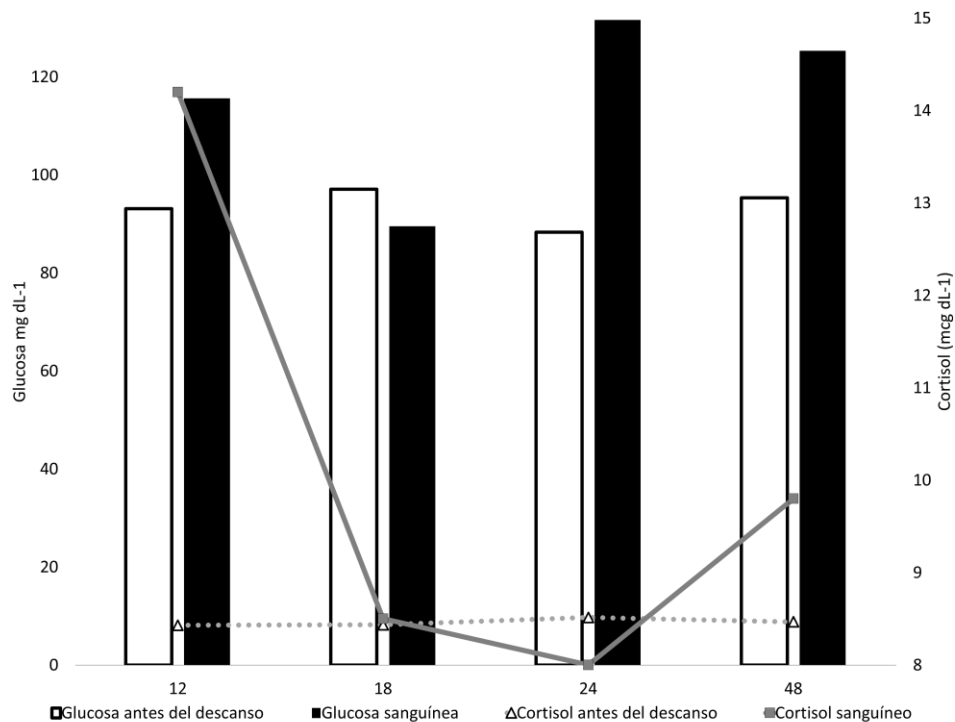
De igual manera, se mostró una elevación significativa sobre los niveles de LDH en animales que viajaron 877 km y descansaron 14h, en comparación con animales que viajaron 922 Km con 22 h de descanso y 1022 km con 22 h de descanso (Chulayo and Muchenje 2017). Con estos hallazgos, se concluye que largas distancias de transporte y la reducción de la duración de espera, incrementa los niveles de CK y LDH en plasma; pero, la presencia de periodos de transporte más largos y más tiempo de espera, muestran una reducción en la producción de estas enzimas, lo cual podría indicar que los animales cuentan con el tiempo suficiente para mitigar la fatiga del transporte (Chulayo and Muchenje 2017).

Glucosa y cortisol

Ante situaciones de estrés, los metabolitos glucosa y cortisol circulan en la sangre y facilitan la producción de energía adicional para sobrellevar la emergencia a la que se enfrenta el animal. Además, estimulan la proteólisis, la gluconeogénesis y efectos antiinflamatorios (Broom and Johnson 2019).

Se ha determinado que, los niveles de cortisol expresados antes de salir de la granja, incrementan significativamente después de transcurridos los periodos de descanso de 3 y 15 h. Esto podría explicar la presencia de estrés a causa de ambientes novedosos, los ruidos inherentes y al movimiento tanto de los animales como de las personas durante el manejo de rutina del matadero. Cabe señalar que, ante un evento estresante, las variables hematológicas vuelven a niveles basales en 30 min, siempre y cuando el animal se encuentre en un entorno familiar; sin embargo, en condiciones adversas, se han reportado niveles más altos de cortisol incluso después de 15 horas de descanso previo al sacrificio (del Campo Gigena et al. 2021).

Al respecto, Moura et al (2021), en bovinos encontraron niveles más altos de glucosa en sangre durante periodos de descanso largos (48 y 24 h); en contraste, con las concentraciones obtenidas a las 18h de descanso (107.6 y 97.2 respectivamente vs 83.7 mg dL⁻¹). En la figura 1, se puede observar altos niveles de glucosa y cortisol antes de llevar a cabo los periodos de descanso, consecutivamente, pasadas las 12h de descanso, los niveles de cortisol tienden a incrementar (8.7 a 12.5 mcg dL⁻¹) a causa del proceso de adaptación al nuevo ambiente, lo cual explicaría el descenso después de transcurridas las 18h (10.6 mcg dL⁻¹). Además, a medida que se incrementa el periodo de espera (24 y 48 horas), se presenta un aumento en los niveles de glucosa en sangre (97.2mg dL⁻¹ y 107.6 mg dL⁻¹ respectivamente) (Moura et al. 2021)



Modificado de Moura et al. 2021

Figura 1. Concentración de glucosa y cortisol en bovinos Aberdeen Angus x Nellore sometidos a 12, 18, 24 y 48 horas de espera previa al sacrificio, evaluadas antes y después del periodo de espera.

Por su parte, Tadich et al. (2005) al estudiar el efecto del viaje por 3 y 16 h de novillos cruce-Friesian en conjunto con cuatro periodos de espera (3,6,12 y 24h) previo al sacrificio, indicó que la elevación en las concentraciones de glucosa se presentó después de las 3 y 6h de espera al sacrificio, pero tendió a disminuir a las 12 y 24h de espera; en tanto que en los novillos transportados por 3h, las concentraciones de glucosa aumentaron después de las 24h de espera.

Cambios conductuales

Ambientes novedosos pueden tener un efecto negativo en los animales destinados al abasto. En este sentido, Del Campo Gigena et al. (2021) reportaron modificaciones en el comportamiento en novillos Hereford y Braford bajo dos tiempos de reposo: uno corto (3h) y otro de mayor duración (15h). Entre ellos, se encontraron alteraciones en la frecuencia de bebida. Además, los animales no realizaron comportamientos sociales positivos. Cabe mencionar que, ambos grupos pasaron el 80% del tiempo total de estabulación en posición de pie y rumiando. En cuanto a la rumia, se determinó que el grupo de estabulación corto presentó mayor

frecuencia, siendo una conducta favorable, a causa de su utilidad como indicador de bienestar animal (del Campo Gigena et al. 2021). De igual forma, se determinó que la frecuencia de conflictos en ambos grupos de espera mostró que la primera hora fue la más vulnerable.

Efecto sobre la calidad de la carne

Diversos periodos de espera muestran un efecto negativo sobre la calidad de la carne. En la figura 2 se muestran los efectos que tienen diferentes periodos de espera sobre diferentes parámetros de la carne. Se ha demostrado que periodos de espera relativamente cortos (3h) pueden ser poco favorables para la recuperación del animal (del Campo Gigena et al. 2021) ya que se observa menor concentración de glucógeno muscular (3.30 mg/g) en comparación con periodos de 12h (10.36 mg/g) (Costa et al. 2019). Sin embargo, también existen reportes sobre la presentación de un menor número de canales con corte oscuro durante periodos de espera de 3h (Gallo et al, 2003). De igual forma, las características instrumentales de la carne se modifican, esto es, en cuanto a color, a medida que se incrementan las horas de descanso, aumentan los valores de *L y disminuyen los valores de fuerza de corte (WBSF) (Chulayo and Muchenje 2017). Por su parte, periodos de descanso >18h incrementan en un 2.1 la presentación de hematomas (Romero et al. 2013). Además, periodos mayores a 36h podrían provocar el agotamiento de reservas de glucógeno muscular (Liotta et al. 2007).

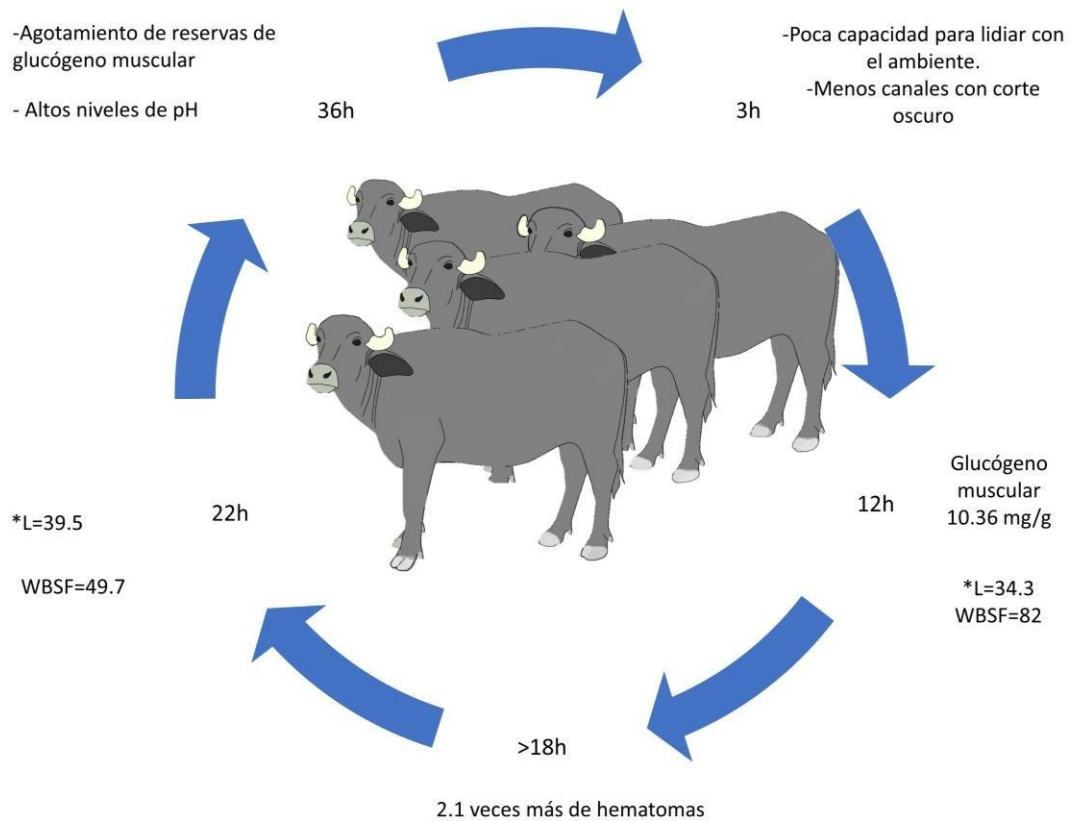


Figura 2. Periodos de espera al sacrificio y su efecto sobre la carne. *L=luminosidad. WBSF= Fuerza de corte Warner-Bratzler.

Basado en esto, un periodo efectivo de descanso podría ser entre un mínimo de 12 y máximo 15 horas, lo cual podría coincidir con lo señalado por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), el tiempo de espera no debe sobrepasar las 12horas y en caso de ser retenidos por más tiempo, los animales deben disponer de alimento, de acuerdo a la especie; mientras que los animales no destetados deben sacrificarse lo antes posible (OIE 2021). Por otro lado, recomendaciones orientadas a otorgar un descanso previo al sacrificio con un máximo de 4 horas tras la llegada al matadero (Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office 2014), también entrarían dentro de lo establecido por la OIE.

Independientemente de la espera antes del sacrificio, se tendrá que prestar especial atención a la duración del transporte, debido a que a medida que incrementan las horas de traslado, se observa una mayor frecuencia de canales con presentación de corte oscuro (Gallo et al. 2003).

Perspectivas

Los hallazgos presentados en este documento pueden ser relevantes para tomar la decisión en el mejor rango de reposo; sin embargo, no se cuenta con un dato contundente; por lo que es necesario realizar investigaciones futuras para definir la duración idónea de espera al sacrificio, considerando diferentes situaciones y factores, tales como sistemas de alimentación, procedimientos de manejo antes del sacrificio, ayuno, distancias y duración del transporte.

De igual manera, el presente documento, expande la apertura a la investigación en otras especies como el búfalo de agua, cuya especie se muestra en auge; sin embargo, actualmente no se cuenta con ningún indicador para definir el tiempo ideal de espera previo al sacrificio.

Conclusión

La presente revisión expone los cambios fisiológicos a los que se enfrenta el animal durante el periodo de espera *antemortem*. La presencia de ayunos prolongados genera desequilibrios fisiometabólicos que se pueden detectar a través de las muestras sanguíneas y que repercuten en la calidad de las canales.

Cabe mencionar que los desequilibrios metabólicos se incrementan considerando distancias prolongadas de viaje, esto es, distancias largas (800 km o más) y tiempo de espera prolongadas (14 h), no resultan ser ideales.

Los comportamientos también se modifican debido a los periodos de espera prolongados, tales como frecuencia de bebida y ausencia de comportamientos sociales positivos; sin embargo, en periodos cortos, los animales permanecen de pie y rumiando

Ante toda la evidencia antes señalada, se sugiere, otorgar tiempos de espera no mayores a 12 h, mismo que podría mostrar efectos positivos sobre el organismo del animal, al permitirle recuperarse del viaje y a su vez, disminuir la presentación de corte oscuro y en consecuencia mejor puntaje de *L y WBSF.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 3: Analizar cuál es el mejor método de aturdimiento evaluado a través de los signos de retorno a la sensibilidad en el búfalo de agua.

MÉTODOS DE ATURDIMIENTO Y EVALUACIÓN DE SIGNOS DE RETORNO A LA SENSIBILIDAD EN EL BÚFALO DE AGUA (*Bubalus bubalis*)

Resumen

Actualmente existe controversia sobre el método efectivo de aturdimiento en el búfalo de agua, a causa del grosor en los senos frontales, así como piel y tejido óseos más firmes, que difieren de la estructura anatómica del bovino convencional. Esta diferencia morfológica ha puesto en duda la efectividad de los métodos de aturdimiento para el búfalo. En este sentido, evidencia científica señala el uso de pistola con balas de casquillo con municiones de 0.357 Mag/10.2 g en posición frontal en el cráneo del animal puede ser efectiva para el búfalo de agua (95%). Sin embargo, dicha efectividad podría no ser la misma para búfalos con mayor edad (13 años). Por su parte, la posición occipital, ha indicado que se presentan signos de conmoción poco profunda en el 44% de los búfalos >30 meses y de 64% para los < 30 meses de edad). Estos hallazgos indicarían que no necesariamente has bienestar comprometido, si se establece definición entre un aturdimiento efectivo de uno que no lo es. Ante estas circunstancias, el objetivo de la presente revisión fue analizar el método de aturdimiento idóneo en el búfalo de agua, a través de los signos de no retorno a la sensibilidad.

Palabras claves: Búfalo de agua, sacrificio, pistola de perno cautivo, signos de sensibilidad, reflejos.

Introducción

Durante el sacrificio, el miedo y el dolor suelen ser fuente de estrés en los animales destinados al abasto. Para limitarlo, comúnmente, la matanza se divide en dos procesos: el aturdimiento y el corte de los grandes vasos sanguíneos. El primero, se basa en inducir la pérdida rápida de la conciencia, a fin de evitar que el animal

experimente dolor o miedo durante el proceso de sacrificio. Con el aturdimiento, se pretende provocar la insensibilidad del animal a estímulos externos (Terlouw et al. 2016; Mota-Rojas et al. 2020a, 2021a). Una vez aturdido, se prosigue con el desangrado para alcanzar la muerte del animal.

En la primer etapa, en grandes rumiantes generalmente, las técnicas de aturdimiento se llevan a cabo mediante el empleo de métodos de percusión. Estos a su vez, los métodos de percusión se dividen en dos, penetrantes y no penetrantes. Los métodos penetrantes hacen referencia al empleo de pernos cautivos, balas libres o chorros de agua a alta presión con el fin de generar un trauma en tejido cerebral y conducir a la pérdida de conciencia. Por su parte, los métodos no penetrantes, generan la inconciencia temporal, a causa de un golpe obtuso controlado en la cabeza, generando la disfunción neuronal y la pérdida del conocimiento (Troeger 2003).

Sin embargo, un proceso de aturdimiento inadecuado, puede desencadenar la estimulación repetitiva de los nociceptores debido al daño celular o una inflamación extensa que reduce el umbral requerido para su activación, lo cual podría conllevar al desarrollo de hiperalgesia primaria (respuesta exagerada y prolongada a un estímulo dañino que impacta en la periferia) generando un aumento en la percepción y la sensibilidad al dolor en la zona lesionada, lo cual podría promover el desarrollo de la hiperalgesia secundaria (Mota-Rojas et al. 2021b).

Al ser una serie coordinada de movimientos originados desde el tronco encefálico, los signos de retorno a la sensibilidad resultan efectivos para evaluar la profundidad del aturdimiento. En este contexto, un animal se denominará aturdido, al no mostrar la recuperación de la postura, cabeza y lengua flácidas, sin presencia de reflejos palpebrales y corneales (Grandin 2017b; Mota-Rojas et al. 2020bc). Estos hallazgos han sido ampliamente estudiados en el vacuno; sin embargo, actualmente el aturdimiento en búfalos aún sigue siendo un tema de discusión, tras la poca claridad existente sobre la región adecuada y el dispositivo a utilizar. Al respecto, se ha indicado que el uso de pistolas de perno cautivo en posición frontal en el búfalo de agua no siempre resulta efectivo, a causa del tamaño de los huesos frontales, cuyo grosor puede alcanzar los 8cm (Gregory 2008; Gregory et al. 2009); Por el contrario, posicionar el dispositivo sobre la región occipital no es aceptado en algunas

regiones (Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office 2014). Por ello, el objetivo de la presente revisión tiene como fin analizar cuál es el método de aturdimiento más idóneo en el búfalo de agua a través de la evaluación de los signos de no retorno a la sensibilidad.

Signos de retorno a la sensibilidad en el búfalo de agua

Al recibir un estímulo nocivo se activan los nociceptores, generando un impulso nervioso para hacer sinapsis con las neuronas del asta dorsal de la médula espinal. En este sitio se suscita la modulación del dolor a través de la alteración del impulso nervioso mediante mecanismos excitadores e inhibitorios. Finalmente, el mensaje es recibido en los núcleos talámicos para dirigirlos a las regiones corticales y subcorticales, incluida la amígdala, hipotálamo, el área gris periacueductal y las áreas de la corteza cerebral, generando así la percepción del dolor (Mota-Rojas et al. 2021b).

De esta forma el daño al tálamo resulta ser una forma eficaz para prevenir la percepción consciente, siendo este órgano, una estructura importante para el aturdimiento efectivo (Meichtry et al. 2018).

Durante el aturdimiento, los nociceptores continúan transduciendo los estímulos dañinos, pero el cerebro no puede recibir el estímulo ni percibir el dolor generado debido a la inhibición de la transmisión nerviosa ascendente (Mota-Rojas et al. 2020bc, 2021ab).

Dicho estado de inconsciencia puede evaluarse mediante reflejos espinales, podales, enderezamiento, amenaza, pupilar, palpebral y corneal (Verhoeven et al. 2015; Mota-Rojas et al. 2020b).

De acuerdo con Grandin (2017b), un animal debidamente aturdido deberá postrar la cabeza y el cuello mantenerlos sueltos y flácidos; lengua colgada, recta y flácida. Asimismo, los ojos deben permanecer bien abiertos con mirada en blanco, sin movimientos oculares, ni parpadeos o reflejo corneal al tacto. Además de estar ausente la respiración rítmica.

Es necesario considerar que el jadeo es un signo de un cerebro moribundo, por lo que debe estar ausente al igual que la respuesta a un pinchazo en la nariz. No

deben emitirse vocalizaciones, ni reflejos de enderezamiento de espalda, en caso contrario, la presentación de dichos eventos mostraría inicios de retorno a la sensibilidad (Grandin 2017b; Mota-Rojas et al. 2021ab).

Sin embargo, después de aplicar el disparo con algún método de percusión, el animal podría presentar uno o más de los signos anteriormente mencionados, generando una disputa entre la inconciencia o un estado de retorno a la conciencia.

No obstante, la dilatación pupilar y la respuesta a pinchazos y pellizcos son considerados signos confiables para considerar un animal consciente durante el aturdimiento (Mota-Rojas et al. 2021a).

En búfalos de agua, también se ha considerado el parpadeo espontáneo y recuperación de la postura para determinar el grado de efectividad del aturdimiento (Meichtry et al. 2018). Otros investigadores han centrado mayor atención a la vigilancia del reflejo palpebral, reflejo corneal positivo, rotación globo ocular, nistagmo y movimientos respiratorios rítmicos, ya que la presencia de uno o más de estos podría traducirse en una conmoción cerebral de poca profundidad o conmoción cerebral superficial cuando el animal no colapsa de forma inmediata, muestra rotación del globo ocular y nistagmo (Gregory et al. 2009).

De este modo podría considerarse que un animal está inconsciente si muestra la cabeza floja, lengua colgante hacia afuera, recta y flácida, acompañado de una espalda colgando [curveada] sin presencia de reflejo de enderezamiento de la espalda, ausencia de vocalizaciones, sin reflejo palpebral y corneal (Grandin 2017b; Mota-Rojas et al. 2020b).

Disparo con balas de casquillo en región frontal

Cabe resaltar que, en el búfalo de agua, los senos frontales anchos, placas óseas duras y la piel más gruesa en conjunto, impiden que las pistolas de perno cautivo de 90 mm lleguen a cavidad craneal (Alsafy et al. 2013; Meichtry et al. 2018; AVMA 2020; Mota-Rojas et al. 2021a), tal y como se muestra en la figura 1A. Lo anterior debido a que el perno debe recorrer una mayor distancia media desde la superficie de piel frontal hasta el tálamo (144.8mm en búfalos vs 102 mm en bovinos). Basado en esto y considerando que la longitud de los pernos cautivos convencionales es de 9 a 12cm, es menos probable el contacto directo del perno con el tálamo y el tronco

encefálico en el búfalo de agua, en contraste al ganado bovino (Schwenk et al. 2016; AVMA 2020).

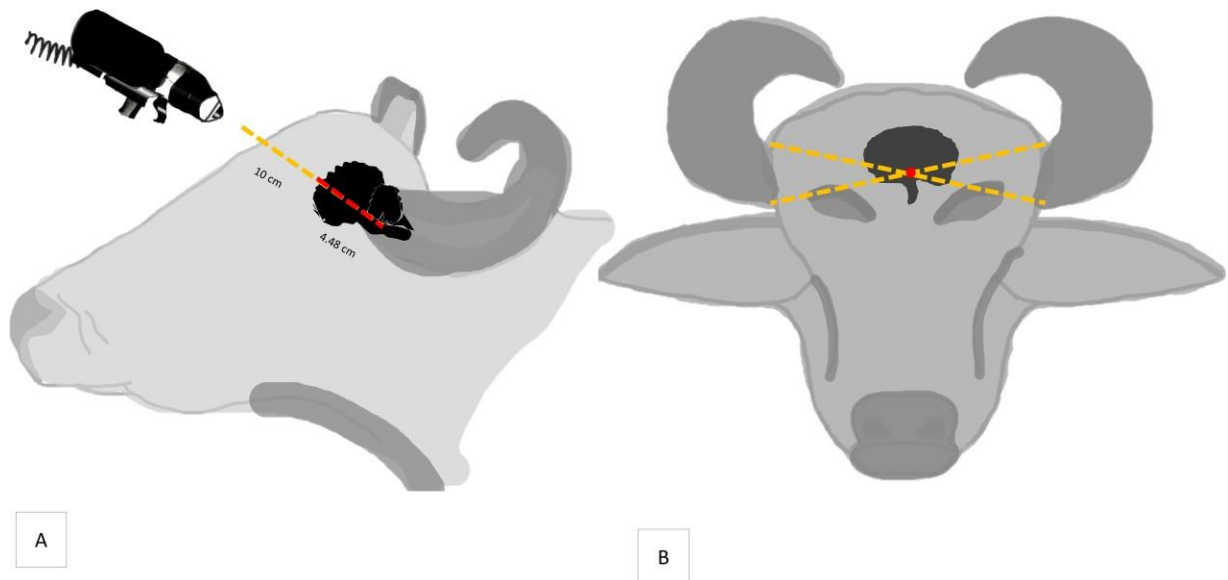


Figura 1. Posición frontal para el aturdimiento del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*). A. Alcance de disparo con perno cautivo mostrado con línea amarilla. Línea roja indica la distancia faltante para ocasionar daño al tálamo o médula espinal. B. posición de aturdimiento en posición frontal.

En adición se ha sugerido que, el uso de aturdidores de perno cautivo hasta el momento podría ser inadecuado, en tanto que el uso de disparos libres puede ser peligroso tras su manipulación (Schwenk et al. 2016).

Grandes avances se han mostrado gracias a lo descubierto por Meichtry et al. (2018), al evaluar un dispositivo de aturdimiento específico para búfalos de agua de entre 1 a 13 años de edad, mediante el diseño de una pistola con balas de casquillo de punta hueca (.357 Mag / 10.2 g HP). El dispositivo contaba con dos cañones de pistola de 9 mm de diámetro con una longitud de 150 mm, la cual fue posicionada sobre la cabeza del animal, ligeramente lateral a la intersección de dos líneas que conectan con los bordes superior y bordes inferiores contralaterales de la base del cuerno (figura 1B). Se valoraron más de 15 respuestas por parte del animal, entre las que se incluían espasmos tónico y clónico, la presencia de colapsos inmediatos, aparición instantánea de apnea, ausencia de: vocalizaciones, jadeo, parpadeo

momentáneo, nistagmo, rotación del globo ocular, reflejo palpebral, reflejo corneal, reflejo del tabique nasal, pérdida de tono muscular, así como la presencia de cabeza y orejas rectas y flácidas, espalda recta sin reflejo de enderezamiento: El estado de inconciencia se evaluó mediante una puntuación de 1-0, donde 1 indicaba pérdida del conocimiento y 0 sin aturdimiento adecuado, esto mientras los animales eran videograbados para verificar la evaluación.

De la misma forma, se realizaron tomografías computarizadas en dos cabezas para rastrear la trayectoria de la bala y revisar las lesiones cerebrales producidas.

Las tomografías computarizadas indicaron que el uso de las municiones .357 Mag./10.2 g HP perforan de forma efectiva, alcanzando cavidad craneal. Asimismo, mediante la evaluación de los signos de retorno a la sensibilidad se indicó que el aturdimiento fue efectivo en el 95% de los animales (19 de 20 búfalos), generando pérdida total del conocimiento con un solo disparo. Durante la evaluación, además se determinó que el 80% de los búfalos mostraron espasmos tónicos y clónicos dentro de los cuales el 81.25% (13 animales) mostraba espasmos leves y solo el 18.75% (3 animales) mostraba espasmos vigorosos. Por su parte, el 20% de los búfalos no presentó espasmos, otorgando una puntuación 0.

Asimismo, el 80% de los animales mostraba la lengua sobresaliente, colgada, recta y flácida, sin movimiento evidente. Cabe mencionar que en el 20% de los búfalos no se pudo realizar dicha evaluación.

Finalmente, los autores describen que del 100% de los animales evaluados, ninguno presentó reflejo ocular, reflejo del tabique nasal o una respuesta al pinchazo a la nariz, presencia de jadeo, parpadeo espontáneo, nistagmo y vocalizaciones, concluyendo la efectividad del aturdimiento con este método.

Para discernir entre la presencia o ausencia de la conciencia, los autores consideraron varios criterios que incluían el colapso o colapso retardado, la recuperación de la postura, respiración activa, parpadeo espontáneo o vocalizaciones como cruciales para determinar la efectividad del aturdimiento.

Con base en estos resultados, los autores recomiendan el uso de la pistola con balas de casquillo como una herramienta fiable y segura de manejar para el aturdimiento de búfalos de agua, al generar la pérdida total de la conciencia.

Sin embargo, en el estudio, el único búfalo que no perdió la conciencia después del primer disparo fue un macho de 13 años, generando en efecto, la consideración de la edad como tema de investigación para futuros métodos de aturdimiento que consideren este factor (Meichtry et al. 2018). La posible explicación a este caso es debido al mayor grosor de tejido y hueso en comparación con las hembras y animales más jóvenes (Small and White 2020).

Aunado con ello, Gregory et al. (2009), al utilizar el perno cautivo con provisiones de 5g en la región frontal de un búfalo con más de 30 meses de edad, se observó que no se derrumbó al primer disparo. Los resultados de balística indicaron que el perno no logró penetrar la cavidad craneal; sin embargo, el grosor del cráneo en dicha posición fue de 8 cm, siendo esta característica, el más alto en el estudio.

En adición, es primordial considerar que las características anatómicas craneales varían de acuerdo con el sexo, raza y edad de los búfalos (Nielsen et al. 2020). Por lo cual, debe evaluarse como un posible riesgo en la efectividad del método, ya que podría dificultar la posición correcta del equipo sobre el cráneo del animal a causa de la variación en la posición de los cuernos.

Por otro lado, se ha reportado que las pistolas de perno cautivo pueden mostrar pérdida de energía, resultando insuficientes cuando se utilizan en búfalos de agua pesados, en particular, machos adultos. Esto con base en un análisis de 13 cabezas de búfalo para la obtención de placas frontales para probar el uso de dos dispositivos de perno cautivo (Schermer KL- 125mm y Cash Magnum 9000S-121mm) en posición frontal, colocándola sobre la intersección de dos líneas que conectan los bordes superiores e inferiores de los cuernos [figura1] (Glardon et al. 2018).

Disparo en región occipital

La posición en la región occipital confiere mayor transferencia de energía cinética, conduciendo a una mayor probabilidad de una inducción eficaz a la pérdida de sensibilidad. En toros pequeños y vacas con menos de 600kg puede resultar en un aturdimiento eficaz generando un impacto con suficiente fuerza sobre algún punto entre la corona y el pliegue detrás de los cuernos, donde la cabeza se une al cuello, en dirección a la mandíbula inferior [figura 2] (Small and White 2020).

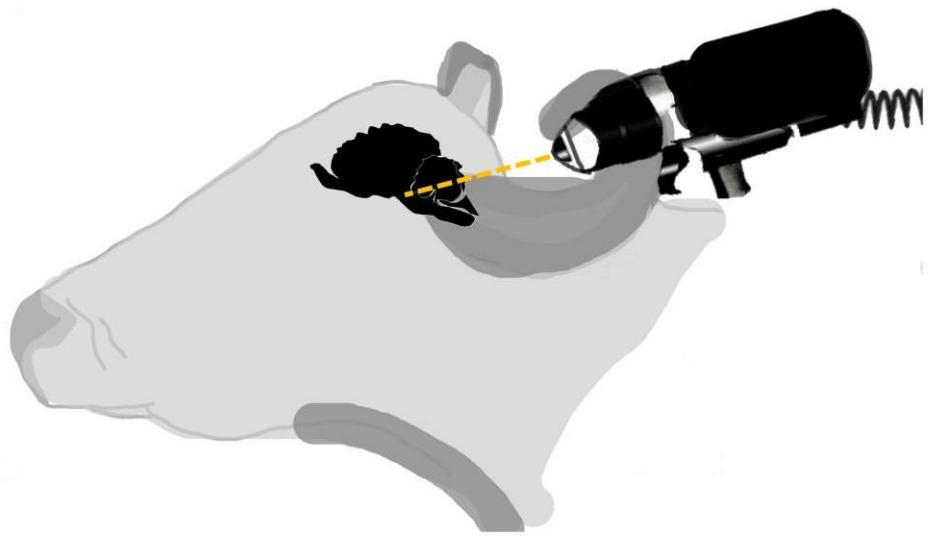


Figura 2. Posición occipital para el aturdimiento del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*).

Gregory et al (2009), evaluó el aturdimiento en búfalos de agua con perno cautivo en tres regiones del cráneo, entre ellas, el área occipital. Para ello, los autores contemplaron los siguientes grupos: el primero conformado por 14 búfalos de agua de menos de 30 meses de edad usando municiones de 3 g; un segundo grupo contempló 7 animales mayores a los 30 meses de edad aturdidos con cartuchos de 5 g y 9 individuos mayores de 30 meses de edad utilizando municiones de 3.5 g. Posterior al disparo, se evaluó el reflejo corneal positivo, la rotación del globo ocular, nistagmo, movimientos respiratorios y reflejo palpebral, al igual que la presencia de mandíbula relajada. Se consideró la presencia de uno o más de los reflejos como conmoción cerebral de poca profundidad. Al día siguiente, se examinaron las cabezas de los sujetos de estudio, para medir la profundidad de la penetración y el grado del daño tisular. Los resultados indicaron que los individuos aturdidos en la región occipital con perno cautivo y provisiones de 3g generaron una profundidad de penetración de 6.5 cm, con una distancia de 1 a 4 cm entre el orificio de disparo y el foramen magnum; mientras que las pistolas de disparo de gatillo con municiones de 5 y 3.5 g mostraron una profundidad de disparo de 8 cm.

Los autores notaron que solo uno de los búfalos no colapsó inmediatamente después del aturdimiento en la región occipital, ya que no mostraba rigidez tónica inmediata y se mantuvo en pie por 5s antes de colapsar. Además, no mostraba reflejo corneal y respiración, pero se observó la rotación del globo ocular y nistagmo. Las pruebas de balística en este cráneo indicaron que la combinación de cartuchos era la adecuada, pero la conmoción cerebral no fue profunda.

Además, el 44% de los búfalos con más de 30 meses de edad mostraron uno o más signos de conmoción cerebral poco profunda y uno de los individuos mostró tres signos que inferían conmoción cerebral superficial al no colapsar inmediatamente, mostrar rotación del globo ocular y nistagmo. El 93.75 % de los búfalos mostró un daño en el proencéfalo, pero daño limitado en las estructuras del mesencéfalo y el tronco encefálico.

Por su parte, el 64% de los búfalos con menos de 30 meses de edad, mostraron uno o más signos de conmoción cerebral de poca profundidad (rotación del globo ocular, reflejo craneal positivo y reflejo palpebral positivo). Dentro de este mismo grupo, uno de los búfalos recibió otro disparo después de vocalizar al primer disparo. En este grupo, se determinó que el 79% mostraba daño en el cerebelo y el 64% tenía un daño en la médula espinal.

Ante estos resultados, los autores determinaron que la región occipital para el aturdimiento puede provocar un aturdimiento efectivo, pero con un grado de conmoción cerebral poco profunda.

Finalmente, los autores sugieren posicionar el perno sobre la depresión debajo de la protuberancia intercondrilar y por encima de los puntos de unión de la *Ligamenta nuchae*, dirigiendo el arma hacia la base de la lengua en los búfalos con menos de 30 meses de edad y hacia la nariz para mayores de 30 meses en caso de requerir muestras para EEB (encefalopatía espongiiforme bovina).

Si bien el disparo en la región occipital podría generar conmoción de poca profundidad, también presenta limitaciones para su aplicación por parte de las normativas, como la establecida en Suiza, que prohíbe la colocación del arma en la parte posterior de la cabeza de los búfalos de agua (Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office 2014).

Ante ello, se han propuesto 3 alternativas para mejorar dicha situación, la primera de estas incluye aumentar la potencia del arma cuando se usa en la región occipital, utilizar un arma muy potente para disparar en la región frontal o disparar en la región occipital con una pistola 25 Matador o 25 Cash Magnum con vigilancia adicional, para asegurar que no se presente la recuperación del animal (Gregory et al. 2009).

Por último, es necesario considerar que la presencia de uno de los signos de retorno a la sensibilidad no necesariamente podría inferir un bienestar comprometido, cuando otros signos están ausentes (ej. un búfalo que colapsa, deja de respirar, no muestra reflejo corneal o palpebral pero presenta la rotación del globo ocular, cuyo caso indicaría el aturdimiento efectivo; sin embargo la presencia de este último podría inferir una conmoción cerebral de poca profundidad (Gregory et al. 2009).

Perspectivas

La presente revisión planea orientar la investigación para el correcto aturdimiento de búfalos machos y con mayor edad, valorando la potencia de impacto y signos de retorno a la sensibilidad.

Asimismo, deja en consideración de análisis las posibles modificaciones ante factores como la edad, sexo y raza. Al mismo tiempo, pretende contribuir sobre la capacitación del personal para el reconocimiento de los signos de retorno a la sensibilidad de mayor relevancia y con ello, efectuar medidas en caso de que se observe alguno de ellos.

Conclusión

El aturdimiento irrumpe la transmisión nerviosa ascendente al recibir el estímulo nocivo y su efectividad puede ser evaluada mediante reflejos espinales, podales, enderezamiento, amenaza, pupilar, palpebral y corneal.

Sin embargo, a causa de las diferencias mostradas con el bovino convencional (grosor en los senos frontales, huesos y piel más dura), generan que el uso de pistolas de perno cautivo de 90mm no penetren hacia cavidad craneal, siendo estas especificaciones un método inadecuado para el aturdimiento del búfalo de agua.

Ante esta situación, el uso de pistolas con balas de casquillo con municiones de .357 Mag/10.2 g en posición frontal del animal, pueden ser efectivas al mostrar evidencia sobre su efectividad para alcanzar cavidad craneal y mostrar efectos

favorables en el 95% de los animales aturdidos al primer disparo. Sin embargo, su uso aún podría resultar poco efectivo en búfalos machos de mayor edad debido a un aumento del grosor de los tejidos superficiales y del hueso.

Otras alternativas para el aturdimiento del búfalo de agua incluyen el disparo en región occipital, un alto porcentaje de los búfalos con más de 30 meses de edad contrajo daños al proencéfalo y más del 50% de los búfalos de menos de 30 meses de edad muestran daño en la médula espinal.

El 44% (>30 meses) y 64% (< 30 meses de edad) mostraron signos de conmoción poco profunda. Mismo que no necesariamente comprometería el bienestar, al analizar de forma individual la presencia de todos los signos de retorno a la sensibilidad que se presenten, con sumo aprecio de aquellos con mayor confiabilidad (pupila dilatada, respuesta al pinchazo, no muestra cabeza flácida y realiza intentos para colocarse de pie).

De este modo, el mecanismo de aturdimiento del búfalo de agua deberá basarse en la edad, sexo y otros factores que puedan intervenir con el aturdimiento efectivo en la especie, mediante la elección correcta el equipamiento y posición a efectuar; por lo que es necesario desarrollar más estudios para identificar los métodos más preciso para el aturdimiento eficaz de búfalos de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 4: Evaluar el efecto de los factores *antemortem* en las alteraciones fisicoquímicas de la carne del búfalo de agua

LA INFLUENCIA DEL ESTRÉS ANTEMORTEM SOBRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA CARNE DE BÚFALO DE AGUA (*Bubalus bubalis*) Y DEL GANADO BOVINO (*Bos taurus*)

Resumen

Durante el proceso de sacrificio, el animal se enfrenta a situaciones novedosas que actuarían como un factor estresante de tipo físico o mental. Ante ello, se desencadena una cascada de respuestas fisiológicas alterando la frecuencia cardíaca y secreción de hormonas (cortisol) y catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) que, tienen efecto en el metabolismo energético de los animales y cuando mueren, a su vez modifican las cualidades de la carne. Entre dichos factores estresantes, se ha incluido al ayuno, tiempo de espera, transporte y aturdimiento como los más críticos responsables de incrementar la aparición de defectos en la carne de corte oscuro (DFD). Por ello, el objetivo de la presente revisión tuvo como fin exponer la relación entre el periodo *antemortem* y las propiedades fisicoquímicas en la carne de búfalo de agua y del ganado bovino, a fin de exponer los puntos críticos que podrían demeritar la obtención de carne de alta calidad.

Palabras claves: Carne oscura, firme y seca, reposo, ayuno, aturdimiento, métodos de matanza.

Introducción

El músculo sufre cambios hacia su transformación en carne, durante este proceso prevalece la glucólisis anaerobia para la obtención de ácido láctico, el cual ejerce un papel importante para el descenso de pH (Álvarez-Álvarez 2002; Greaser and Guo 2012; Terlouw et al. 2021). Sin embargo, las etapas previas al sacrificio pueden influir como factores estresantes sobre el animal, incrementando la frecuencia cardíaca, respiratoria, ansiedad e irritabilidad (Xing et al. 2019; Flores-Peinado et al. 2020). Dichas condiciones tienen un impacto negativo sobre la calidad de la carne, que se ven reflejadas cuando se evalúan las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del producto (Hernández et al. 2013; Legarreta et al. 2020).

Se ha demostrado que el tiempo de espera al sacrificio, periodos largos de ayuno y traslados largos pueden conducir a altos valores en el pH final (pH u) (Gallo et al. 2003; Costa et al. 2019; Steel et al. 2021; del Campo Gigena et al. 2021). Generando en consecuencia, uno de los principales efectos derivados del estrés, la presentación de carnes de corte oscuro, firme y seco (DFD), mismo que ha generado pérdidas de hasta 88.58 dólares por canal (Leyva-García et al. 2012).

Este defecto en la carne está asociado con eventos de estrés prolongado antes del sacrificio. Una carne DFD contribuye además, a la visualización de otros defectos de calidad, incluidos el color, terneza, jugosidad, sabor y vida útil, a causa del agotamiento de las reservas de glucógeno, reduciendo de esta forma la glucólisis *post-mortem* y en consecuencia la disminución de la concentración de ácido láctico muscular, que no alcanza a llevar a la acidificación necesaria para disminuir el valor de pH (Mota et al. 2016; Ponnampalam et al. 2017; Fabio et al. 2020; Ijaz et al. 2020; Alarcón-Rojo et al. 2021).

Por ello, el objetivo de la presente revisión tiene como fin exponer la relación entre el periodo *antemortem* y las propiedades fisicoquímicas de la carne de búfalo de agua y ganado bovino y con ello exponer los puntos críticos de demeritan la obtención de carne de alta calidad.

El impacto del estrés sobre las propiedades de la carne

Tras el sacrificio, cesa el riego sanguíneo y a su vez, el aporte de nutrientes a las fibras musculares, lo cual conduce al catabolismo anaerobio de las reservas de glucógeno, para su conversión en ácido láctico. Este metabolito, tiene un efecto sobre la reducción del valor de pH, a causa de la acumulación de iones de hidrógeno (H^+) en el músculo. También genera ATP, el cual es degradado a ADP+P, liberando energía en forma de calor. Sin embargo, dicha resíntesis se agota de forma progresiva a causa del descenso gradual de pH (Álvarez-Álvarez 2002; Greaser and Guo 2012; Terlouw et al. 2021).

Durante el proceso de sacrificio, el animal se enfrenta a situaciones novedosas que actuarían como un factor estresante de tipo físico o mental, modificando de esta forma su comportamiento e internamente, con cambios fisiológicos en respuesta a esos estímulos. En este sentido, se incrementa la frecuencia cardiaca y se liberan

hormonas asociadas con el estrés agudo como las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) o crónico (cortisol), quienes se encargan de proporcionar sustancias energéticas mediadas por la glucólisis y la gluconeogénesis, respectivamente (Terlouw et al. 2021; Mota-Rojas et al. 2021b; Raghazli et al. 2021; Pogorzelski et al. 2022).

El inicio de la cascada hormonal inicia como respuesta al estrés, en el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal (HPA) que regula la liberación de la hormona liberadora de corticotropina (CRH), la cual estimula la secreción de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), misma que propicia la secreción de catecolaminas y en seguida, si las condiciones adversas se prolongan, se libera cortisol [figura1] (Raghazli et al. 2021).

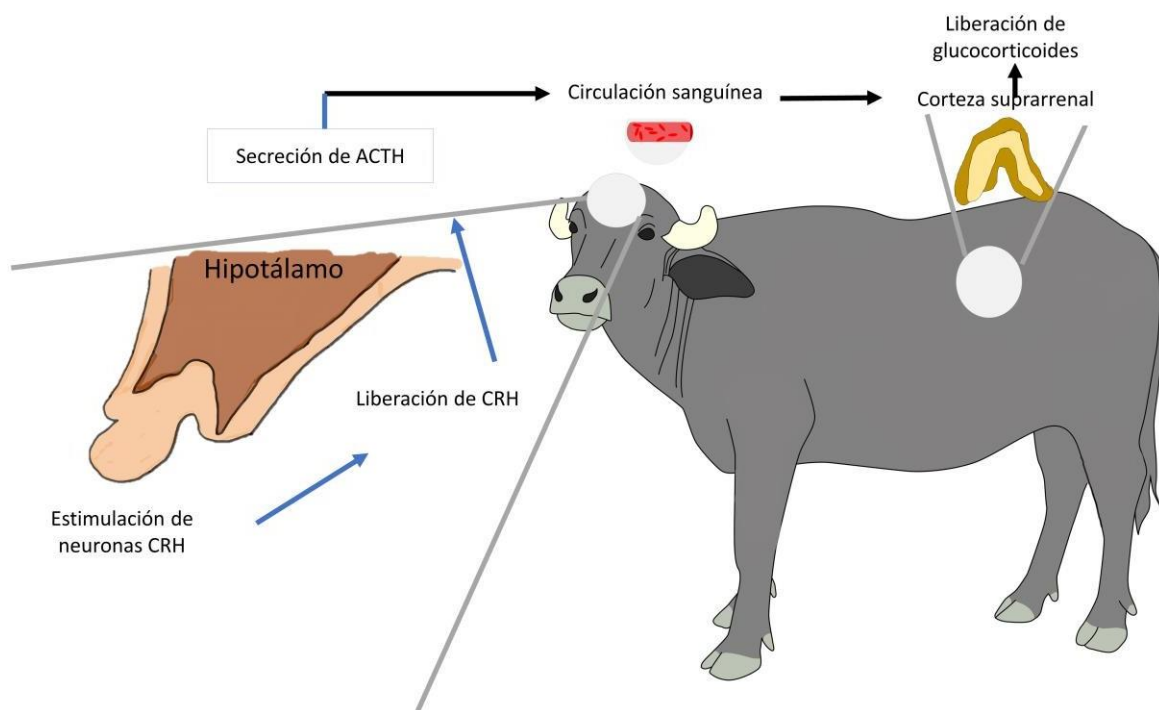


Figura 1. Activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal a causa del ambiente novedoso *antemortem*.

El cortisol incrementa los niveles de glucosa en plasma e inhibe la absorción de glucosa por el tejido adiposo (Reiche et al. 2019). La adrenalina desempeña un papel importante en la determinación de la calidad de la carne, al estimular la degradación de glucógeno muscular mediante la activación de la glucógeno fosforilasa (Reiche et al. 2019; Terlouw et al. 2021). La adrenalina por su parte

convierte la glucógeno fosforilasa (GP) en la forma activa, mediante una serie de reacciones bioquímicas. Al hacerlo, GP moviliza las reservas de glucógeno hepático y muscular para producir ATP. Ante situaciones de estrés agudo, la activación de GP acelera la glucólisis *postmortem* y posteriormente la disminución de los valores de pH dando como resultado la presentación del defecto en la carne denominado pálido, suave y exudativo (PSE) con mayor frecuencia en no rumiantes (Gruber et al. 2010; Matarneh et al. 2017).

De igual forma, el estrés crónico activa enzimas responsables de metabolizar el glucógeno, provocando antes del sacrificio el agotamiento de glucógeno muscular de reserva y en efecto, la disminución de la concentración de ácido láctico para conducir hacia un aumento de pH final (Grandin 1980; Kandeepan et al. 2013; Matarneh et al. 2017).

Al respecto, la evidencia sugiere que toros Limousin x Pardo suizo con estrés previo al sacrificio presentan una disminución más rápida de los valores de pH, temperatura, produciendo una carne menos jugosa (Reiche et al. 2019).

Sin embargo, la carne del búfalo de agua muestra parámetros fisicoquímicos diferentes a los observados en el ganado bovino, lo cual podría marcar una diferencia sobre la calidad de la carne (Cruz-Monterrosa et al. 2020; Di Stasio and Brugiapaglia 2021).

En cuanto a la calidad de la carne, Jorge et al. (2006), reportaron un pH final de 5.43 en *Longissimus dorsi* y 5.46 en *Bíceps femoris* de búfalo, valores más bajos a los mostrados por el ganado Gyr (5.64), Guzerat (5.73), Caracu (5.63) y Nellore (5.68). Dichos resultados podrían deberse a la docilidad del búfalo de agua, que a su vez podría generar menos estrés, y en efecto un menor agotamiento de glucógeno muscular, reduciendo de este modo la probabilidad de aparición de carne con defecto DFD en esta especie (Jorge et al. 2006).

Cabe considerar que el rango medido de pH, a las 24h *post-mortem* en búfalos de río es entre 5.29 a 5.75, los cuales se encuentran en el rango típico de los animales sometidos a una manipulación adecuada (Di Stasio and Brugiapaglia 2021). Este indicador podría inferir que valores mayores a 5.75 en pH₂₄, estarían relacionados con una disminución de glucógeno muscular antes del sacrificio y con ello la presentación del corte oscuro (o DFD) en la carne de búfalo.

Cabe mencionar que, en condiciones normales, existe una disminución más lenta de pH en la carne de búfalo, en contraste a la carne de bovino. Dentro del cual, el valor de pH a los 40 min *postmortem* es más alto (6.7 vs 6.4) al nivel de pH mostrado en la carne de bovino. Para alcanzar un pH final (pH u) de 5.4 a las 48 h *postmortem* vs 5.4 a las 24 h *postmortem* en el ganado bovino, el lento descenso de pH podría deberse a las diferencias en el tipo de cadena pesada de glucógeno y miosina (Neath et al. 2007).

Evidencia científica del estrés previo al sacrificio y su efecto en la calidad de la carne

Ayuno previo al sacrificio

Antes o durante la espera al sacrificio, los animales tienen acceso al agua, pero no a los alimentos. El ayuno tiene el fin de limitar el contenido visceral, en un intento de prevenir la ruptura intestinal, mismo que podría provocar la contaminación microbiológica de la canal, pero también se recurre a este tipo de prácticas para reducir el contenido de glucógeno en el músculo durante la glucólisis anaerobia y con ello, generar menos ácido láctico y por lo tanto, una reducción del valor de pH (Aguilar-Guggembuhl 2012; Matarneh et al. 2017).

Evidencia sugiere que el ayuno prolongado muestra un efecto negativo sobre el nivel productivo del animal. Pese a la nula información de este efecto sobre el búfalo de agua, en ganado bovino se ha indicado que la reducción de estos periodos podría alcanzar hasta un 1.2% adicional de kilogramos de la canal en novillos Hereford y Angus. Sin embargo, periodos más reducidos de ayuno no mejoran los niveles de pH, lo cual podría indicar que, a pesar del riesgo a un aumento del gasto energético e incremento en la movilización del glucógeno, el ayuno podría no ser suficiente para agotar a los animales y afectar la calidad de la carne (Clariget et al. 2021).

Tiempo de espera previo al sacrificio

El tiempo de espera previo a la matanza para el abasto, ha mostrado asociación con la incidencia de corte oscuro; (Gagaoua et al. 2021). Ya que generalmente está relacionado con el agotamiento de glucógeno muscular *antemortem*, provocando la

reducción del sustrato disponible para la glucólisis anaeróbica (Ponnampalam et al. 2017; Alarcón-Rojo et al. 2021; Steel et al. 2021; Gagaoua et al. 2021)

En este aspecto, Liotta et al. (2007), tras la evaluación de periodos de espera cortos y prolongados en el ganado bovino (Limousine). Demostraron que tiempos de espera mayores a 36h no muestran efectos positivos en el bienestar animal y muestran una menor calidad de la carne al incrementar el pH *postmortem* (5.30 periodos cortos vs 5.56 periodos largos), probablemente a causa del agotamiento de reservas de glucógeno muscular antes del sacrificio.

En relación con ello, podría esperarse modificaciones en las propiedades instrumentales de la carne, como el incremento en los valores de luminosidad (L*) y una disminución en la fuerza de corte Warner-Bratzler, como lo han señalado Chulayo y Muchenje (2017) en ganado bovino., ya que a medida que incrementan las horas de reposo (34.3 a las 12h; 35.9 a las 14h; y39.5 a las 22h), se incrementan los valores *L y disminuyen los valores de WBSF (82 a las 12h, 61.5 a las 14h y 49.7 a las 22h).

Sumado a esto, la calidad de la canal se demerita por lesiones. Romero et al. (2013), reportaron que un tiempo de espera *antemortem* mayor a 18-24h, incrementa 2.1 veces la frecuencia de hematomas, en contraste con periodos más cortos (12 y 18h). Estos resultados podrían indicar que periodos largos de reposo en corral post-transportación, mostrarían un efecto adverso para el animal y la carne; sin embargo, periodos muy cortos también muestran efectos negativos. Esto fue comprobado por del Campo Gigena et al (2021) al evaluar el efecto de la espera previa al sacrificio de bovinos bajo dos tratamientos: corto (3h) vs largo (15h), sin ayuno previo al transporte, en novillos Hereford y Braford. Los resultados indicaron que un periodo de espera corto, genera poca capacidad para lidiar con el medio ambiente antes del sacrificio, con los consiguientes efectos adversos sobre el pH de la canal: mientras que el grupo de animales con periodo prolongado de descanso y sin ayuno previo, mostraron una respuesta metabólica más alta, pero tuvieron tiempo suficiente para descansar y recuperarse durante la noche, alcanzando niveles de pH inferiores a 5.8, considerado como límite superior del rango normal.

De forma similar, un estudio evaluó el tiempo de espera sobre los rasgos de la canal y carne de novillos Hererford en condiciones extensivas, mediante la asignación

aleatoria a dos grupos: tiempo de reposo corto (3h) o largo (12h), para determinar las puntuaciones de conformación y grasa de la canal. Además, se analizaron muestras de los músculos *Longissimus thoracis et lumborum* para la determinación del contenido de glucógeno, pH y color. Los resultados mostraron diferencias en cuanto al contenido de glucógeno muscular entre los grupos, siendo más bajo para el grupo con reposo de 3 h en contraste con el grupo con 12 h de reposo (3.30 vs 10.36 mg/g), cuyo efecto podría estar relacionado con la presencia de rumia durante toda la noche, fungiendo como componente importante de la disponibilidad de glucosa. Asimismo, el animal quizá tuvo la oportunidad de descansar por la noche con ambientes más tranquilos y tal vez también lograr cierto control sobre el gasto de energía inducido por el estrés causado por el nuevo ambiente. De igual manera, es posible considerar que se llevó a cabo la restauración de sus reservas musculares a partir de glucosa hepática movilizada y con ello tener más tiempo para restaurar el glucógeno muscular de la gluconeogénesis durante el periodo de reposo. Sin embargo, los autores no encontraron efectos significativos del tiempo de estabulación sobre el color de la carne, fuerza de corte o los valores de pH (Costa et al. 2019).

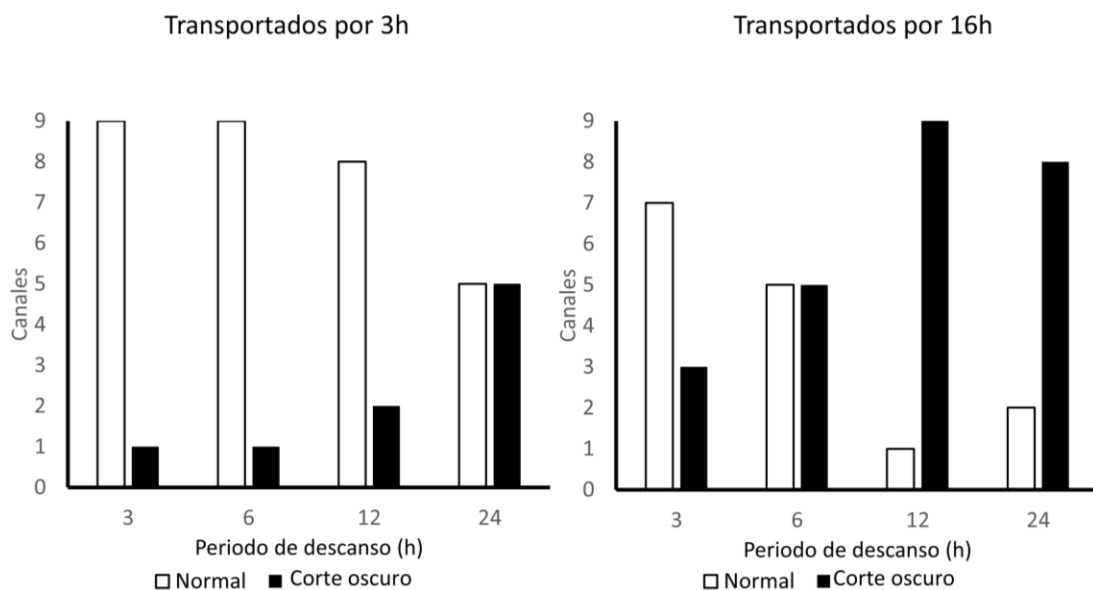
En otro estudio similar realizado por Li et al. (2018), 30 borregos fueron asignados a tres tratamientos: transporte de 3 horas sin descanso posterior; traslado con duración de 3 horas, pero con un descanso de 12 horas tras su llegada al matadero; y un grupo control en donde no se sometió al traslado ni al descanso consecuente. Se encontró que, el resguardo por 12 horas permitió a los corderos recuperarse del estrés inducido por el transporte, resultando en características de calidad de carne similares en comparación al grupo control, con excepción del aumento de la pérdida por goteo y una coloración amarillenta de la carne, a causa del agotamiento del glucógeno y la disminución del potencial glucolítico en el músculo (LI et al. 2018).

Transporte

El periodo de la transportación incluye factores estresantes de tipo físico (lesiones, temperaturas extremas, vibración, velocidad del vehículo, ruido y hacinamiento) y psicológico (olores, hambre, sed y fatiga) (Aguilar-Guggembuhl 2012).

Al respecto, Gallo et al (2003) evaluaron en Chile, el efecto del transporte en toros Friesian durante 3 o 16h, con una espera previa al sacrificio de 3,6,12 y 24h, para

determinar el peso vivo, peso a la canal, pH y color del músculo. Los resultados indicaron que el peso medio vivo se redujo 8.5 kg menos después del viaje de 16 horas. Asimismo, el peso disminuyó en un 0.42 kg más por cada hora que permanecieron en el corral de espera previo al sacrificio. En la figura 3 se muestran los resultados del estudio realizado por Gallo et al (2003), considerando el número de canales normales y aquellos con corte oscuro (n=10). Los hallazgos indican que independientemente del periodo de espera, el transporte de 3h muestra mayor frecuencia de presentación de canales normales en contraste con aquellos procedentes de animales transportados por 16 horas (31 vs 15). Nótese la diferencia evidente sobre el número de canales afectadas con corte oscuro ante viajes de 3h vs 16h, en donde se puede apreciar un incremento del corte oscuro conforme aumenta el tiempo de espera para ambos periodos de transporte, con excepción al descanso de 24 h en viajes de 16h, el cual indica menos frecuencia de presentación de canales con corte oscuro que el mostrado por 12h de descanso (8 vs 9)(Gallo et al. 2003).



Modificado de Gallo et al. 2003

Figura 2. novillos (n=10) transportados por 3 y 16 horas, sometidos a diferentes periodos de descanso: 3, 6, 12 y 24 horas.

Aunado con lo anterior, el peso medio de la canal fue de 3.03kg más bajo que el mostrado por los animales transportados por 3 horas. Además, se observó una disminución de 0.10kg por cada hora de espera previa al sacrificio. De igual manera, el pH de los animales transportados por 16h fue 0.236 mayor que en los animales transportados por 3 horas y se mostró un aumento de 0.13kg por cada hora que esperaban en el matadero. En cuanto a la luminosidad muscular, se indicó que el viaje de 16h resultó 2.39 unidades menos en comparación con la carne de animales transportados por 3 horas; sin embargo, en ambos grupos se mostró un descenso de 0.089 unidades por cada hora que se mantuvieron en el corral. Finalmente, el estudio encontró una relación significativa entre el tiempo de espera previo al sacrificio y el número de canales clasificadas como corte oscuro (Gallo et al. 2003).

En contraste, Chulayo et al. (2017), evaluaron el pH_u y la coloración de la carne 48h después del sacrificio en muestras de *muscularis longissimuss thoracis et. lumborum* (LTL) de ganado bovino (Beefmaster, Charolaise, Holstein-Friesian y cruza). Los resultados determinaron que el pH_u de los animales que viajaron 877 y 1263km fue el más alto (>5.9), lo que provocó una carne más oscura y dura ($L^* = 29,7$ y WBSF = 45,3 respectivamente). Asimismo, la duración del alojamiento tuvo un efecto significativo en L^* y WBSF, donde un tiempo de espera previo al sacrificio incrementó los valores de L^* conforme aumentaron las horas de reposo (34.3 a las 12h; 35.9 a las 14h; y 39.5 a las 22h) y disminuyendo los valores de WBSF a mayor tiempo de reposo (82 a las 12h, 61.5 a las 14h y 49.7 a las 22h).

Por otro lado, es posible, notar diferencias en el grado de lesiones encontradas en las canales de búfalo y bovino. Esto con base en lo indicado por Alam et al (2010b), al determinar el porcentaje de heridas titulares en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) vs ganado bovino (*Bos indicus*), el cual resulta ser más elevado en el ganado bubalino (89% vs 84%). Lo cual podría indicar que la carne de búfalo podría en efecto, mostrar más alteraciones en canal o cuando menos, favorecer las concentraciones de aminos biógenas y en efecto una descomposición más rápida (Cruz-Monterrosa et al. 2017).

Sacrificio

Durante este periodo, el miedo y el dolor son fuentes de estrés. La matanza para el abasto se divide en dos: aturdimiento y degüelle. La etapa de aturdimiento funge

como recurso para evitar la percepción de dolor sin detener el corazón y al mismo tiempo, permitir la pérdida total de sangre una vez que se realiza el desangrado y la muerte propiamente dicha (Terlouw et al. 2016; Matarneh et al. 2017; Mota-Rojas et al. 2020a, 2021a); sin embargo, los métodos de sacrificio deficientes, la falta de saneamiento, instalaciones inadecuadas o el manejo inapropiado de los animales, afecta directamente el bienestar animal, generando estrés (Mota-Rojas et al. 2005; Aguilar-Guggembuhl 2012) y en efecto, repercusiones en la carne a causa de la alteración del pH.

Al respecto, algunos métodos de aturdimiento pueden influir sobre la calidad de la carne, tal y como sucede ante la presentación de equimosis, también conocida como salpicadura de sangre, misma que surge como consecuencia del aumento en la presión arterial después del aturdimiento, al exacerbar la infiltración de sangre a los tejidos, especialmente durante el aturdimiento eléctrico (Gregory 2005), cuyas aparición se ha reportado en corderos (Kirton et al. 1978), cabras (Sabow et al. 2017), cerdos (Lammens et al. 2006) y ganado bovino (Agbeniga and Webb 2012).

Otro de los factores asociados con estrés deriva de una inadecuada exanguinación. Los efectos adversos fueron evaluados en Bangladesh, donde se encontró un promedio mínimo de 3.6 cortes de garganta en ganado [(cruza india, que generalmente incluye origen Holstein y / o Jersey) y 5.1 en búfalos de agua durante el sacrificio halal. Se infiere que se compromete el bienestar del búfalo de agua en mayor grado en contraste con el ganado bovino (Alam et al. 2020).

Por otro lado, se ha indicado que tiempos mayores a 1.5 min de espera al cajón de noqueo incrementan el estrés del animal a causa del entorno novedoso y olor a sangre de sus conespecíficos propician la presentación de defectos DFD, al incrementar el metabolismo, provocando la remoción del ácido láctico mediante el flujo sanguíneo, provocando que la acidificación de la carne sea insuficiente trayendo en consecuencia altos niveles de pH (Pérez-Linares et al. 2013; Napolitano et al. 2020).

Perspectivas

A diferencia de otras especies, hasta el momento se desconoce la existencia de algún estudio en búfalos que considere el efecto del estrés sobre el impacto del pH u otros parámetros evaluados en la carne. Por ello, se sugiere fomentar mayor

investigación sobre los factores *antemortem* y su efecto en la carne del búfalo de agua. Debido a que esta especie tiene mayor predisposición a las lesiones de tipo cutánea durante el periodo *antemortem*, aun siendo un animal con mayor docilidad y capacidad para enfrentar situaciones de estrés, que ponen en tela de juicio los efectos sobre la calidad de la carne.

Ante estas consideraciones, estudios futuros deberán analizar el tiempo ideal de ayuno para esta especie, así como las repercusiones sobre la calidad de la carne. Del mismo modo, la evaluación del tiempo de espera al sacrificio efectivo y la valoración de modificaciones metabólicas (concentraciones de glucógeno, cortisol, adrenalina y epinefrina) podrían contribuir a una mayor comprensión sobre las alteraciones en la carne.

De esta forma, se espera definir las condiciones óptimas para asegurar el bienestar de la especie y asegurar la obtención de carne de buena calidad.

Conclusión

Tras la muerte del animal, transcurren cambios metabólicos en el músculo hacia su paso a carne; sin embargo, la presencia de estrés *antemortem* interfiere sobre dicho metabolismo, modificando de manera negativa las propiedades fisicoquímicas de la carne. Por lo que se debe prestar atención a los eventos *antemortem*, tales como el ayuno.

tiempo de espera prolongados, ya que a medida que incrementan las horas de reposo incrementan los valores L^* y disminuyen los valores de WBSF; en contra parte, periodos relativamente cortos (3h) también resultan ser poco favorables, al limitar la posibilidad del animal a hacer frente a lidiar con el ambiente, descansar y recuperarse del transporte, modificando el pH de forma adversa.

De este modo, se podría inferir que un descanso de 12h, permitiría restaurar el glucógeno muscular de la gluconeogénesis durante el periodo de reposo.

Por otro lado, el tiempo largo de transporte (16h) puede conducir a una reducción de 0-42kg por cada hora que permanece en el corral de espera, lo que también repercute en valores de pH más elevados (>5.9) ante viajes mayores 877 km y provocando una carne más oscura y dura ($L^* = 29,7$ y WBSF = 45,3 respectivamente).

Es posible mencionar que tiempos de espera al cajón de aturdimiento mayores a 1.5 min, aunado a la falta de saneamiento, instalaciones inadecuadas o manejo inapropiado fungen como eventos estresantes, mismos que a su vez podrían aumentar el riesgo a la aparición de DFD.

Asimismo, métodos de aturdimiento eléctrico pueden propiciar la aparición de equimosis en la carne y en efecto reducir su calidad.

Por lo tanto, es necesario seguir desarrollando estudios que contengan los procedimientos correctos y los indicadores necesarios para garantizar el bienestar de los animales en las etapas *antemortem* y que se vean reflejados en la legislación de los países con el fin de mantener la calidad de la carne.

CONCLUSIONES GENERALES DEL PROYECTO

La presente revisión muestra que el análisis de las lesiones *antemortem* puede realizarse antes o después de realizado el sacrificio. En este último, la evaluación de la forma, color o tamaño de las lesiones en la canal suelen ser de gran interés para la evaluación de buenas prácticas de manejo. Por su parte, la evaluación *antemortem* se basa en ocho categorías: abrasiones; laceraciones; lesiones penetrantes; ulceraciones; hemorrágicas; lesiones tumefactas; con hiperqueratosis; y cicatrizales.

Dentro de la cual, el búfalo de agua presenta mayor porcentaje de abrasiones, en contraste al ganado bovino convencional, quizás debido a las diferencias anatómicas entre ambas especies, como las apófisis trasversas lumbares más estrechas y puntiagudas en comparación al bovino, incrementando el riesgo de laceraciones en la región caudal, la región dorsal y la altura a la cruz.

Donde el transporte de 16h puede conducir a una reducción de 0-42kg por cada hora que permanece en el corral de espera, además, viajes mayores 877 km pueden conducir a una carne más oscura y dura ($L^* = 29,7$ y $WBSF = 45,3$).

Así mismo, viajes de 877km con descansos de 14h muestran un incremento significativo sobre los niveles de LDH en contraste con viajes más largos con tiempo de espera mayor. Lo cual podría inferir que, distancias largas y esperas mayores, no resultan ser ideales. Además de las alteraciones originadas a causa de la espera previa al sacrificio, el comportamiento de bebida puede verse disminuido sumado a la ausencia de comportamientos sociales positivos.

Sin embargo, periodos de espera relativamente cortos pueden resultar poco favorables, al limitar la posibilidad del animal a lidiar con el ambiente, descansar y recuperarse del transporte, lo cual podría ejercer efecto sobre el pH de la carne de forma adversa.

Por lo que se sugiere, otorgar retenciones de espera no máximas a 12 h, mismo que podría mostrar efectos positivos sobre el organismo del animal, al permitirle recuperarse del viaje y a su vez, disminuir la presentación de corte oscuro y en consecuencia mejor puntaje de L^* y WBSF.

En cuanto al aturdimiento, el uso de pistolas con balas de casquillo con municiones de .357 Mag/10.2 g en posición frontal del animal, pueden ser efectivas al mostrar evidencia sobre su efectividad para alcanzar la cavidad craneal y mostrar efectos favorables en el 95% de los animales aturdidos al primer disparo.

Sin embargo, su uso aún podría resultar poco efectivo en búfalos machos de mayor edad debido a un aumento del grosor del tejido y hueso en región frontal.

Otras alternativas para el aturdimiento del búfalo de agua incluyen el disparo en región occipital, donde evidencia sugiere daños al proencéfalo en el 93.75% de búfalos con más de 30 meses de edad y el 64% con daño en médula espinal en búfalos menores de 30 meses de edad.

De esta forma, el mecanismo de aturdimiento del búfalo de agua deberá basarse en la edad, sexo y otros factores que puedan intervenir con el aturdimiento efectivo en la especie, mediante la elección correcta del equipamiento y posición a efectuar.

RECOMENDACIONES

Actualmente, la literatura en torno a las lesiones y evaluación de puntos críticos durante la movilización de búfalos de agua es limitada. No obstante, los estudios previamente mencionados muestran la necesidad de determinar puntos críticos durante la movilización de búfalos, la creación de estrategias para favorecer un correcto manejo (tales como el número de animales, tipo de vehículo utilizado y duración del traslado), y estudios etiológicos de las lesiones en ganado bufalino generadas durante su transporte, para disminuir la presentación de lesiones, contribuir en la mejora del bienestar del búfalo y a su vez, reducir las pérdidas económicas.

Así mismo, el presente documento, expande la apertura a nuevas investigaciones para analizar el periodo *antemortem* del búfalo de agua, evaluando el tiempo ideal de espera, ayuno y los efectos del transporte sobre las modificaciones fisiológicas del búfalo de agua y su consecuente efecto sobre la calidad de la carne.

Cabe mencionar que el mecanismo de aturdimiento del búfalo de agua deberá basarse en la edad, sexo y otros factores que puedan intervenir con el aturdimiento efectivo en la especie, mediante la elección correcta del equipamiento y posición a efectuar.

REFERENCIAS

Agbeniga B, Webb E (2012) Effect of slaughter technique on bleed-out, blood in the trachea and blood splash in the lungs of cattle. *South African Journal of Animal Science* 42:.. <https://doi.org/10.4314/sajas.v42i5.17>

Aguilar-Guggembuhl J (2012) Antemortem handling. In: Aalhus J, Cocolin L, Guerrero-Legarreta I, et al. (eds) *Handbook of Meat and Meat Processing*, 2nd edn. CRC Press. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, pp 303–314

Ahsan M, Hasan B, Algotsson M, Sarenbo S (2014) Handling and welfare of bovine livestock at local abattoirs in Bangladesh. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 17:340–353. <https://doi.org/10.1080/10888705.2014.905782>

Alam MR, Gregory NG, Jabbar MA, et al (2010a) Frequency of dehydration and metabolic depletion in cattle and water buffalo transported from India to a livestock market in Bangladesh. *Anim Welf* 19:301–305

Alam MR, Gregory NG, Jabbar MA, Uddin MS, Kibria ASMG, Silva-Fletcher A (2010b) Skin injuries identified in cattle and water buffaloes at livestock markets in Bangladesh. *Veterinary Record* 167:415–419. <https://doi.org/10.1136/vr.c3301>

Alam MR, Gregory NG, Uddin MS, Jabbar MA, Chowdhury S, Debnath NC (2010c) Frequency of nose and tail injuries in cattle and water buffalo at livestock markets in Bangladesh. *Animal Welfare* 19:295–300.

Alam MR, Islam MJ, Amin A, et al (2020) Animal-based welfare assessment of cattle and water buffalo in Bangladeshi slaughterhouses. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 23:219–230. <https://doi.org/10.1080/10888705.2019.1620608>

Alapati A, Kapa SR, Jeepalyam S, et al (2010) Development of the body condition score system in Murrah buffaloes: validation through ultrasonic assessment of body fat reserves. *J Vet Sci* 11:1–8. <https://doi.org/10.4142/jvs.2010.11.1.1>

Alarcón-Rojo A, Mota-Rojas D, García-Galicia I, et al (2021) Dark cutting in large ruminants: Effect of management and environmental factors. *Agro Productividad* 13:93–98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>

Alarcón-Rojo, A.D., Janacua-Vidales, H., 2010. Capítulo 18. Alteraciones de las reacciones enzimáticas post-mortem en carnes PSE y DFD. En: *Bienestar animal y calidad de la carne*. Primera edición. (Eds). Mota Rojas, Guerrero, y Trujillo. BM Editores. México. p. 287-299.

Alsafy MAM, El-Gendy SAA, El Sharaby AA (2013) Anatomic Reference for Computed Tomography of Paranasal Sinuses and Their Communication in the Egyptian Buffalo (*Bubalus bubalis*). *Anat Histol Embryol* 42:220–231. <https://doi.org/10.1111/ah.12005>

Álvarez-Álvarez D (2002) Influencia de las condiciones antemortem y la tecnología del sacrificio sobre la calidad de la carne porcina. Universidad de Murcia

AVMA (2020) AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2020 Edition

Barros A., Castro L., 2004. Buenas Prácticas Operacionales. Serie Técnica N° 34. Instituto Nacional de Carnes de Uruguay. INAC. Montevideo, Uruguay.

Barton Gade P, Barton-Grade P (2004) Pre-slaughter handling. In: *Encyclopedia of Meat Sciences*. Elsevier, Nueva York, p 1401

Bertoni A, Álvarez-Macías A, Dávalos-Flores JL, Mota-Rojas D (2020a) Productividad de los búfalos de agua y sus expectativas de desarrollo en zonas tropicales. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta, Orihuela A (eds) El búfalo de agua en Latinoamérica, 3rd edn. BM Editores, Ciudad de México, México, pp 167–207

Bertoni A, Napolitano F, Mota-Rojas D, Sabia E, Álvarez-Macías A, Mora-Medina P, Morales-Canela A, Berdugo-Gutiérrez J, Guerrero-Legarreta I (2020b) Similarities and differences between river buffaloes and cattle: Health, Physiological, Behavioral and Productivity Aspects. *Journal of Buffalo Science* 9:92–109.

Bethancourt-Garcia JA, Vaz RZ, Vaz FN, Silva WB, Pascoal LL, Mendonça FS, Vara CC da, Nuñez AJC, Restle J (2019) Pre-slaughter factors affecting the incidence of severe bruising in cattle carcasses. *Livestock Science* 222:41–48.

Brennecke K, Zeferino CP, Soares VE, Orlandi CMB, Bertipaglia LMA, Sgavioli S, Dian PHM, Amâncio WDC (2020) Welfare during pre-slaughter handling and carcass lesions of beef cattle submitted to different loading densities. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 40:985–991.

Broom DM (2008) Long distance transport and welfare of farm animals. In: *The welfare of livestock during road transport*. pp 157–181

Broom DM, Johnson KG (2019) Adaptation, regulation, sentience and brain control. In: Broom DM, Johnson KG (eds) *Stress and Animal Welfare*, 2nd edn. Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, pp 15–48

Carrasco-García AA, Pardío-Sedas VT, León-Banda GG, Ahuja-Aguirre C, Paredes-Ramos P, Hernández-Cruz BC, Murillo VV (2020) Effect of stress during slaughter on carcass characteristics and meat quality in tropical beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 33:1656–1665.

Castro de Jesús J, Ortega-Cerrilla ME, Herrera-Haro JG, Hernández-Cazares AS, Ayala-Rodríguez JM (2021) Animal welfare during transport and slaughter of beef cattle. *Agro Productividad* 1–8.

Chambers P, Grandin T (2001) *Guidelines for humane handling, transport and slaughter of livestock*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Regional Office for Asia and the Pacific.

Chandra BS, Das N (2001a) The handling and short-haul road transportation of spent buffaloes in relation to bruising and animal welfare. *Tropical Animal Health and Production* 33:155–163.

Chandra BS, Das N (2001b) Behaviour of Indian river buffaloes (*Bubalus bubalis*) during shorthaul road transportation. *Veterinary Record* 148:314–315.

Chulayo A-Y, Muchenje V (2017) Activities of some stress enzymes as indicators of slaughter cattle welfare and their relationship with physico-chemical characteristics of beef. *Animal* 11:1645–1652. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000222>

Clariget J, Banchemo G, Luzardo S, et al (2021) Effect of pre-slaughter fasting duration on physiology, carcass and meat quality in beef cattle finished on pastures or feedlot. *Research in Veterinary Science* 136:158–165. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.02.018>

Costa F de O, Brito G, Lima JMS de, et al (2019) Lairage time effect on meat quality in Hereford steers in rangeland conditions. *Rev Bras Zootec* 48:. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180020>

Costa LN, Fiego DP Lo, Tassone F, Russo V (2006) The relationship between carcass bruising in bulls and behaviour observed during pre-slaughter phases. *Veterinary Research Communications* 30:379–381.

Cruz-Monterrosa RG, Mota-Rojas D, El-aziz AHA, et al (2020) Calidad de la carne de búfalo de agua: análisis nutricional, sensorial e inocuidad, conservación, empaçado y autenticidad. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, Orihuela A (eds) *El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes.*, 3rd edn. BM Editores, México, pp 1279–1319

Cruz-Monterrosa RG, Reséndiz-Cruz V, Rayas-Amor AA, López M, la Lama GCM (2017) Bruises in beef cattle at slaughter in Mexico: implications on quality, safety and shelf life of the meat. *Tropical Animal Health and Production* 49:145–152.

del Campo Gigena M, Soares de Lima JM, Brito G, et al (2021) Effect of finishing diet and lairage time on steers welfare in Uruguay. *Animals* 11:1329. <https://doi.org/10.3390/ani11051329>

Di Stasio L, Brugiapaglia A (2021) Current knowledge on river buffalo meat: A critical analysis. *Animals* 11:2111. <https://doi.org/10.3390/ani11072111>

Edwards-Callaway, L.N., Walker, J., Tucker, C.B., 2019. Culling Decisions and Dairy Cattle Welfare During Transport to Slaughter in the United States. *Front. Vet. Sci.*, 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00343> European Food and Safety Authority (EFSA). 2006. The welfare aspects of the main systems of stunning and killing applied to commercially farmed deer, goats, rabbits, ostriches, ducks, geese and quail. *EFSAJ* 326, 1-18.

Fabio N, Strappini A, Ramírez-Briebesca E, et al (2020) Estresores previos a la muerte y su efecto en la calidad de la carne del búfalo de agua. In: Napolitano F., Mota-Rojas D., Guerrero-Legarreta I. & OA (ed) El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes., 3rd edn. BM Editores, México, pp 1178–1233

Farm Animal Welfare Committe (2019) Opinion on the Welfare of Animals during Transport. Farm Animal Welfare Committe https://consult.defra.gov.uk/transforming-farm-animal-health-and-welfare-team/improvements-to-animal-welfare-in-transport/supporting_documents/fawcopiniononthewelfareofanimalsduringtransport.pdf. Accessed on: november 15, 2021.

Ferreira K de C, Furtado AC, Flores HP, de Oliveira PR de O, Gonçalves AG, Oliveira DM de (2020) Cattle loading rates in different truck models and their relationship with bruises on bovine carcasses. *Ciência Rural* 50:e20190819.

Flores-Peinado S, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, et al (2020) Physiological responses of pigs to preslaughter handling: infrared and thermal imaging applications. *International Journal of Veterinary Science and Medicine* 8:71–84. <https://doi.org/10.1080/23144599.2020.1821574>

Gagaoua M, Warner RD, Purslow P, et al (2021) Dark-cutting beef: A brief review and an integromics meta-analysis at the proteome level to decipher the underlying pathways. *Meat Science* 181:108611. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108611>

Gallo C, Espinoza MA, Gasic J, Martínez P (2001) Efectos del transporte por camión durante 36 horas con y sin período de descanso sobre el peso vivo y algunos aspectos de calidad de carne en bovinos. *Archivos de medicina veterinaria* 33.

Gallo C, Lizondo G, Knowles TG (2003) Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Veterinary Record* 152:361–364. <https://doi.org/10.1136/vr.152.12.361>

Gallo CB, Huertas SM (2016) Main animal welfare problems in ruminant livestock during preslaughter operations: a South American view. *Animal* 10:357–364.

Garcia JAB, ZambardaVaz R, Vaz FN, Restle J, Mendonça FS (2019) Pre-slaughter factors associated with severe bruising in different primary commercial cuts of bovine carcasses. *Rev Ciênc Agron* 50:681–690.

Gardon M, Schwenk BK, Riva F, et al (2018) Energy loss and impact of various stunning devices used for the slaughtering of water buffaloes. *Meat Science* 135:159–165. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.014>

- Grandin T (1980) The effect of stress on livestock and meat quality prior to and during slaughter. *International Journal for the Study of Animal Problems* 1:313–337
- Grandin T (2010) Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Science* 86:56–65.
- Grandin T (2012) Developing measures to audit welfare of cattle and pigs at slaughter. *Animal Welfare* 21:351–356.
- Grandin T (2017a) On-farm conditions that compromise animal welfare that can be monitored at the slaughter plant. *Meat Science* 132:52–58.
- Grandin T (2017b) How to determine insensibility (unconsciousness) in cattle, pigs, and sheep in slaughter plants
- Grandin, T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.* 75, 249–257
- Greaser M, Guo W (2012) Postmortem muscle chemistry. In: Aalhus J, Cocolin L, Guerrero-Legarreta I, et al. (eds) *Handbook of meat and meat processing*, 2nd edn. CRC Press. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, pp 63–78
- Gregory NG (2005) Recent concerns about stunning and slaughter. *Meat Science* 70:481–491. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.026>
- Gregory NG (2008) Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Science* 80:2–11. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.019>
- Gregory NG, Spence JY, Mason CW, et al (2009) Effectiveness of poll stunning water buffalo with captive bolt guns. *Meat Science* 81:178–182. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.016>
- Gregory, N.G., Fielding, H.R., von Wenzlawowicz, M., von Holleben, K., 2010. Time to collapse following slaughter without stunning in cattle. *Meat. Sci.*, 85, 66-69.
- Gruber SL, Tatum JD, Engle TE, et al (2010) Relationships of behavioral and physiological symptoms of preslaughter stress to beef longissimus muscle tenderness¹. *Journal of Animal Science* 88:1148–1159. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2183>
- Guerrero-Legarreta, I., Ponce, E., Pérez, M.I., 2002. *Curso Práctico de Tecnología de Carnes y Pescado*. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. México D.F.
- Hemsworth, P.H., Fisher, A.D., Mellor, D.J., Johnson, C.B. 2009. A scientific comment on the welfare of sheep slaughtered without stunning. Retrieved, 14, 2013.

- Herdt TH (2020) Utilización postabsortiva de los nutrientes. In: Klein BG (ed) Cunningham Fisiología veterinaria, 6th edn. Elsevier, Barcelona, España, pp 361–377
- Hernández B, Aquino J, Ríos F (2013) Pre-mortem handling effect on the meat quality. *Nacameh* 7:41–64
- HSA. 2014. Humane Slaughter Association (HSA). 2014. Aturdimiento de animales por perno cautivo. The Old School, Brewhouse Hill, Wheathampstead, Herts, Reino Unido
- Hultgren, J., Wiberg, S., Berg, C., Cvek, K., Lunner-Kolstrup, C., 2014. Cattle
- Ijaz M, Li X, Zhang D, et al (2020) Association between meat color of DFD beef and other quality attributes. *Meat Science* 161:107954. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107954>
- Imlan JC, Kaka U, Goh Y-M, et al (2020) Effects of Slaughter Knife Sharpness on Blood Biochemical and Electroencephalogram Changes in Cattle. *Animals* 10:579. <https://doi.org/10.3390/ani10040579>
- Jorge AM, Andrighetto C, Millen DD, et al (2006) Características bioquímicas da carne de bubalinos Mediterrâneo terminados em confinamento e abatidos em diferentes pesos. *Ciência Rural* 36:1534–1539. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500030>
- Kandeepan G, Mendiratta SK, Shukla V, Vishnuraj MR (2013) Processing characteristics of buffalo meat-a review. *Journal of Meat Science and Technology* 1:1–11
- Kerr M (2002) Veterinary laboratory medicine. Clinical biochemistry and haematology, 2nd edn. Blackwell Science
- Kirton AH, Bishop WH, Mullord MM, Frazerhurst LF (1978) Relationships between time of stunning and time of throat cutting and their effect on blood pressure and blood splash in lambs. *Meat Science* 2:199–206. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(78\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(78)90005-0)
- Kline HC, Weller ZD, Grandin T, Algino RJ, Edwards-Callaway LN (2020) From unloading to trimming: studying bruising in individual slaughter cattle. *Translational Animal Science* 4:1–9.
- Kober A, Bari M, Rakib M, Ali M (2014) Injuries of cattle and buffaloes during transportation and slaughter at Chittagong city corporation of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Animal Science* 43:74–77
- Lammens V, Van de Water G, Coenegrachts J, et al (2006) Head current during and blood splashes after electrical stunning in relation to characteristics of the pig's body. *Meat Science* 72:140–145. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.06.017>

- Legarreta IG, Naveena BM, Mota-Rojas D, et al (2020) Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, Orihuela A (eds) *El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes*, 3rd edn. BM Editores, México, pp 1236–1277
- Lemcke B (2015) Transportation to the Abattoir. In: *Water Buffalo Handling: Property to Abattoir*. Northern Territory Government, pp 1–5
- Leyva-García I, Figueroa-Saavedra F, Sánchez-López E, et al (2012) Economic impact of DFD beef in a Federal Inspection Type (TIF) slaughterhouse. *Archivos de medicina veterinaria* 44:39–42. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2012000100006>
- Li X, Xia A, Chen L, et al (2018) Effects of lairage after transport on post mortem muscle glycolysis, protein phosphorylation and lamb meat quality. *Journal of Integrative Agriculture* 17:2336–2344. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61922-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61922-7)
- Liotta L, Costa LN, Chiofalo B, et al (2007) Effect of lairage duration on some blood constituents and beef quality in bulls after long journey. *Italian Journal of Animal Science* 6:375–384. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.375>
- Matarneh S, England M, Scheffler T (2017) The conversion of muscle to meat. In: Toldrá F (ed) *Lawrie's meat science*, 8th edn. Elsevier. Woodhead Publishing, United Kingdom, pp 159–185
- McKeith RO, Gray GD, Hale DS, Kerth CR, Griffin DB, Savell JW, Raines CR, Belk KE, Woerner DR, Tatum JD, Igo JL, VanOverbeke DL, Mafi GG, Lawrence TE, Delmore RJ, Christensen LM, Shackelford SD, King DA, Wheeler TL, Meadows LR, O'Connor ME (2012) National beef quality audit-2011: harvest-floor assessments of targeted characteristics that affect quality and value of cattle, carcasses, and by products. *Journal of Animal Science* 90:5135–5142.
- Meichtry C, Glauser U, Glardon M, et al (2018) Assessment of a specifically developed bullet casing gun for the stunning of water buffaloes. *Meat Sci* 135:74–78. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.004>
- Mendonça FS, Vaz RZ, Cardoso FF, Restle J, Vaz FN, Pascoal LL, Reimann FA, Boligon AA (2018) Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses. *Animal Production Science* 58:385.
- Mohankumar SMJ, Balasubramanian P, Dharmaraj M, Mohankumar PS (2012) Neuroendocrine regulation of adaptive mechanisms in livestock. In: *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 263–298.

Mota D, Maris-Huertas S, Alarcon A, et al (2016) Músculo oscuro, firme y seco en bovinos: mecanismos involucrados. In: Mota D, Velarde A, Maris-Huertas S, Cajiao M (eds) Bienestar animal. Una visión global en Iberoamérica, 3rd edn. Elsevier, Barcelona, Spain, pp 477–493

Mota-Rojas D, Álvarez-Macías A, Napolitano F, Cruz-Monterrosa R, Bertoni A, Molina S, Ghezzi MD, Ramírez-Briebesca E (2020a) Los animales de trabajo: actores anónimos en el medio rural. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, Orihuela A (eds) El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes, 3rd edn. B.M. Editores, Ciudad de México, pp 359–399

Mota-Rojas D, Becerril M, Lemus C, et al (2006) Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci* 73:404–412. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.11.012>

Mota-Rojas D, Becerril-Herrera M, Alonso-Spilsbury M, et al., 2012. Effects of long distance transport and CO2 stunning on critical blood values in pigs. *Meat Sci.* 90, 893–898.

Mota-Rojas D, Ghezzi MD, Napolitano F, et al (2020b) Calidad del aturdimiento en búfalos: Reflejos y signos de retorno a la sensibilidad durante la muerte. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, Orihuela A (eds) El búfalo de agua en Latinoamérica, 3 ed. B.M. Editores, pp 1073–1115

Mota-Rojas D, Ghezzi MD, Napolitano F, et al (2020c) Calidad del aturdimiento en búfalos: Reflejos y signos de retorno a la sensibilidad durante la muerte. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, Orihuela A (eds) El búfalo de agua en Latinoamérica, 3 ed. B.M. Editores, pp 1073–1115

Mota-Rojas D, Ghezzi MD, Napolitano F, et al (2021a) Quality of death in the river buffalo (*Bubalus bubalis*). *J Anim Behav Biometeorol* 9:. <https://doi.org/10.31893/jabb.21015>

Mota-Rojas D, Napolitano F, Strappini A, et al (2021b) Pain at the Slaughterhouse in Ruminants with a Focus on the Neurobiology of Sensitisation. *Animals* 11:1085. <https://doi.org/10.3390/ani11041085>

Mota-Rojas D, Strappini A, Ghezzi MD, et al (2020b) ¿Cómo evaluar la calidad de la muerte en búfalos y reses? Aspectos neurobiológicos. In: Napolitano F, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I (eds) El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes., 3rd edn. B.M. Editores, México, pp 1116–1176

Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Trujillo, O.M.E., 2010a. Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p.361.

Mota-Rojas, D., Alarcón-Rojo, A.D., Vázquez GG., Guerrero-Legarreta, I., 2010b. Músculo oscuro firme y seco en bovinos, mecanismos involucrados. En: Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p. 271-286.

Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Gay, J. F. R., Lemus, F. C., Alonso, S. M. L., Ramírez, N.R., 2005. Calidad de la carne, salud pública e inocuidad alimentaria. México: Universidad Autónoma Metropolitana Serie Académicos CBS No. 52. 353 pp.

Mota-Rojas, D., Velarde, A., Maris-Huertas, S., Cajiao, M. N. 2016 Editors. In: Animal welfare, a global vision in Ibero-America. 3rd ed. Elsevier. Barcelona, Spain. 1-516.

Moura SV de, Silveira IDB, Ferreira OGL, et al (2021) Lairage periods on temperament score and meat quality of beef cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 56:1–8. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.02349>

Neath KE, Del Barrio AN, Lapitan RM, et al (2007) Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Science* 75:499–505. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.016>

Nielsen SS, Alvarez J, Bicout DJ, et al (2020) Welfare of cattle at slaughter. *EFSA Journal* 18:e06275. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6275>

Nielsen SS, Michelsen AM, Jensen HE, Barington K, Opstrup KV, Agger JF (2014) The apparent prevalence of skin lesions suspected to be human-inflicted in Danish finishing pigs at slaughter. *Preventive Veterinary Medicine* 117:200–206.

O'Neill HA, Webb EC, Frylinck L, Strydom PE (2018) Effects of short and extended fasting periods and cattle breed on glycogenolysis, sarcomere shortening and Warner-Bratzler shear force. *South African Journal of Animal Science* 48:71. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i1.9>

OIE (2021) Slaughter of animals. In: *Terrestrial Animal Health Code*. pp 1–18

Ortolani E, Maruta C, Barrêto Júnior R, et al (2020) Metabolic profile of steers subjected to normal feeding, fasting, and re-feeding conditions. *Veterinary Sciences* 7:95. <https://doi.org/10.3390/vetsci7030095>

Özkan E, Siddiq AB, Kahvecioğlu KO, Öztürk M, Onar V (2019) Morphometric analysis of the skulls of domestic cattle (*Bos taurus* L.) and water buffalo (*Bubalus bubalis* L.) in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 43:532–539.

Padalino B, Tullio D, Cannone S, Bozzo G (2018) Road transport of farm animals: mortality, morbidity, species and country of origin at a Southern Italian control post. *Animals* 8:155.

Pérez-Linares C, Sánchez-López E, Ríos-Rincón FG, et al (2013) Factores de manejo pre y post sacrificio asociados a la presencia de carne DFD en ganado bovino durante la época cálida. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 4:149–160

Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Barreras-Serrano, A., 2008. Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en clima desértico. *Arch. Zootec.* 57:545-547.

Pogorzelski G, Pogorzelska-Nowicka E, Pogorzelski P, et al (2022) Towards an integration of pre- and post-slaughter factors affecting the eating quality of beef. *Livestock Science* 255:104795. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104795>

Ponnampalam EN, Hopkins DL, Bruce H, et al (2017) Causes and contributing factors to “Dark Cutting” meat: Current trends and future directions: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16:400–430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12258>

Prince, J. F., Schweigert, B. S., 1994. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Acribia, España. Pp. 139-166.

Raghazli R, Othman A-H, Kaka U, et al (2021) Physiological and electroencephalogram responses in goats subjected to pre-and during slaughter stress. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28:6396–6407. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.013>

Reiche A-M, Oberson J-L, Silacci P, et al (2019) Pre-slaughter stress and horn status influence physiology and meat quality of young bulls. *Meat Science* 158:107892. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107892>

Romero M, Gutiérrez C, Sánchez J (2012) Evaluation of bruises as an animal welfare indicator during pre-slaughter of beef cattle. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 25:267–275

Romero MH, Uribe-Velásquez LF, Sánchez JA, Miranda-de la Lama GC (2013) Risk factors influencing bruising and high muscle pH in Colombian cattle carcasses due to transport and pre-slaughter operations. *Meat Science* 95:256–263. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.014>

Sabow AB, Adeyemi KD, Idrus Z, et al (2017) Carcase characteristics and meat quality assessments in goats subjected to slaughter without stunning and slaughter following different methods of electrical stunning. *Italian Journal of Animal Science* 16:416–430. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1291287>

Salesse R (2017) Opinion paper: Smell: an affordable way to improve livestock welfare. *Animal* 11:1425–1426.

Santé-Lhoutellier V, Monin G (2014) Conversion of muscle to meat. Slaughter-line operation and pig meat quality. In: Encyclopedia of Meat Sciences. Elsevier, pp 366–369

Sanvictores T, Casale J, Huecker MR (2021) Physiology, fasting

Schwartzkopf-Genswein K, Ahola J, Edwards-Callaway L, Hale D, Paterson J (2016) Symposium Paper: Transportation issues affecting cattle well-being and considerations for the future. *The Professional Animal Scientist* 32:707–716.

Schwenk BK, Lechner I, Ross SG, et al (2016) Magnetic resonance imaging and computer tomography of brain lesions in water buffaloes and cattle stunned with handguns or captive bolts. *Meat Science* 113:35–40. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.010>

Silva, J. A., Patarata, L., Martins, C., 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Sci.* 52, 453-459

Small A, White R (2020) Developing appropriate stunning methods for halal slaughter of water buffalo

Steel CC, Lees AM, Bowler D, et al (2021) Abattoir factors influencing the incidence of dark cutting in Australian grain-fed Beef. *Animals* 11:474. <https://doi.org/10.3390/ani11020474>

Strappini AC, Frankena K, Metz JHM, Gallo B, Kemp B (2010) Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science* 86:859–864.

Strappini AC, Frankena K, Metz JHM, Gallo C, Kemp B (2012) Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. *Animal* 6:502–509.

Strappini AC, Metz JHM, Gallo CB, Kemp B (2009) Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal* 3:728–736.

Strappini, A.C., Metz, J.H.M., Gallo, C., Frankena, K., Vargas, R., de Freslon, I., Kemp, B., 2013. Bruises in culled cows: When, where and how are they inflicted? *Animal*, 7, 485-491.

Strappini, A.C. 2010. Capítulo 9. Problemas y errores más comunes encontrados en Chile durante el manejo del ganado. En: Bienestar animal y calidad de la carne. Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Trujillo, O.M.E. (Eds). Primera edición. BM Editores. México. pp. 157-169.

Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office (2014) SR 455.110.2. Verordnung des BLV über den Tierschutz beim Schlachten (VTSchS). <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2010/615/de>

- Tadich N, Gallo C, Bustamante H, et al (2005) Effects of transport and lairage time on some blood constituents of Friesian-cross steers in Chile. *Livestock Production Science* 93:223–233. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.10.004>
- Tamburrano A, Tavazzi B, Callà CAM, et al (2019) Biochemical and nutritional characteristics of buffalo meat and potential implications on human health for a personalized nutrition. *Ital J Food Saf* 8:8317. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2019.8317>
- Tardio, N.M., Valls, C.N., Sousa M.N., Obaya, F.A. 1999. Aturdimiento y Sacrificio <https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/1999/80170/aturdimientoysacrificio.pdf>
- Tarrant, P.V. 1990. Transportation of cattle by road. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 28, 153-170.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.011>
- Terlouw EMC, Picard B, Deiss V, et al (2021) Understanding the Determination of Meat Quality Using Biochemical Characteristics of the Muscle: Stress at Slaughter and Other Missing Keys. *Foods* 10:84. <https://doi.org/10.3390/foods10010084>
- Trigo F (2017) Trastornos circulatorios. In: Trigo F, Valero G (eds) *Patología general veterinaria*, 6th edn. UNAM. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, Ciudad de México, pp 163–225
- Troeger K (2003) Meat. Slaughter. In: Trugo L, Finglas P (eds) *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2nd edn. Academic Press, pp 3766–3772
- Valkova L, Vecerek V, Voslarova E, Kaluza M, Takacova D (2021) The welfare of cattle, sheep, goats and pigs from the perspective of traumatic injuries detected at slaughterhouse postmortem inspection. *Animals* 11:1406.
- Vartnam, A. H., Sutherland, J. P. 1998. Introducción. *Carne y productos cárnicos: tecnología, química y microbiología*. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 1-40.
- Velarde A, Dalmau A (2012) Animal welfare assessment at slaughter in Europe: moving from inputs to outputs. *Meat Science* 92:244–251.
- Verhoeven MTW, Gerritzen MA, Hellebrekers LJ, Kemp B (2015) Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. *Animal* 9:320–330. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002596>

Villarroel, M., Maria, G.A., Sierra, I., Sanudo, C., Garcia-Belenguer, S., Gebresenbet, G., 2001. Critical points in the transport of cattle to slaughter in Spain that may compromise the animals' welfare. *Vet. Rec.*, 149, 173-176.

Viveca Sandström (2017) Development of a monitoring system for the assessment of cattle welfare in abattoirs. Swedish University of Agricultural Science <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.571.9581&rep=rep1&type=pdf>. Accessed on: December 16, 2021.

Warris, P. D. 2000. Chapter 7: The effects of live animal handling of carcass and meat quality. *Meat Science an introductory text*. CABI Publishing. London, UK. Pp: 131-155.

Washington IM, Van Hoosier G (2012) Clinical biochemistry and hematology. In: *The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster, and Other Rodents*. Elsevier, pp 57–116

Welfare Quality Network (2009) Assessment protocol for cattle. www.welfarequalitynetwork.net. Accessed on: December 16, 2021.

Wigham EE, Butterworth A, Wotton S (2018) Assessing cattle welfare at slaughter – Why is it important and what challenges are faced? *Meat Science* 145:171–177.

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. *J. Anim. Sci.* 80, 1895-1903.

Xing T, Gao F, Tume RK, et al (2019) Stress effects on meat quality: A mechanistic perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18:380–401. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12417>

Zeman, A. 2001. Consciousness. *Brain: J.Neurol.*, 124, 1263-1289.