



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

TRANSPORTE DE LARGA DISTANCIA DE BOVINOS DE CARNE EN MÉXICO:
CARACTERIZACIÓN E IMPACTOS POST-TRANSPORTE EN EL BIENESTAR,
LA SALUD Y LA PRODUCTIVIDAD.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

PRESENTA:
MARCELA VALADEZ NORIEGA

TUTOR PRINCIPAL
GENARO CVABODNI MIRANDA DE LA LAMA
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
FRANCISCO AURELIO GALINDO MALDONADO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MARÍA SALUD RUBIO LOZANO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi familia, papás, hermanas, sobrinos, tías Lupe, Coco, Chela, tío Javi que siempre me han acompañado en cada paso nuevo que doy, incluso en caminos no convencionales, me acompañan, me aman y me siguen motivando a abrir las alas.

A todos los colegas que han creído en mí, con quienes he tenido el honor de ejercer nuestra hermosa profesión y que me han compartido su invaluable conocimiento.

Colegas que, al final de este largo proceso se han convertido en amigos y compañeros de vida... Yesmin, Allan, ¡gracias! Colegas que ya no están con nosotros, pero cuyo legado transmitiremos de generación en generación, Dr. De la Peña, Coronel Roberto Milantoni... ¡gracias!

A Sony, quien ha logrado sacar una versión de mí que no conocía y que me encanta. Desde su aparición en esta historia, siempre ha estado aquí para apoyarme e impulsarme a concluir con este capítulo; quiero seguir creciendo y compartiendo a tu lado.

A todos los animales involucrados en este proyecto y a todos los animales de granja que representan una fuente muy importante de alimento para las personas y que dependen de más trabajos como éste para que, mediante nuevos conocimientos, podamos impulsar una mejor calidad de vida para todos ellos.

FINANCIAMIENTO

Este estudio fue realizado gracias a la beca de posgrado proporcionada por la Universidad Nacional Autónoma de México y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el cual además le dio financiamiento al estudio por medio del proyecto número 259327, dentro de la Convocatoria de Investigación Científica Básica 2015, en el que el investigador principal es G.C. Miranda-de la Lama. Los autores declaran que no tienen conflictos de interés con respecto a la presente publicación.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	10
2.1. Sistemas de producción cárnica	10
2.1.1. <i>Sistemas de producción de bovino para carne</i>	11
2.1.2. <i>Estadística de la producción de carne en México y el mundo</i>	13
2.2. Transporte de ganado y logística	14
2.2.1. <i>Bases del comportamiento bovino aplicado al transporte</i>	16
2.2.2. <i>Logística aplicada al transporte</i>	18
2.2.3. <i>Preparación pre-transporte</i>	19
2.2.4. <i>Carga – descarga</i>	21
2.2.5. <i>El viaje: larga distancia</i>	22
2.3. Adaptación post-arribo y engorda	27
2.3.1. <i>Arribo y proceso de adaptación</i>	27
2.3.2. <i>Efectos en el peso, condición corporal y contenido ruminal</i>	28
2.3.3. <i>Efectos en la salud (morbilidad y mortalidad)</i>	31
2.3.4. <i>Efecto del comportamiento, mezcla social y densidad en corral</i>	35
2.3.5. <i>Efecto del personal en el proceso de adaptación</i>	36
2.3.6. <i>Efectos del clima, termorregulación y uso de sombras</i>	38
3. HIPOTESIS Y OBJETIVOS	44
4. ARTÍCULOS	45
4.1. Artículo 1	45
4.2. Artículo 2	75
4.3. Artículo 3	105
5. DISCUSIÓN	131
6. CONCLUSIONES Y CONTRIBUCIÓN GLOBAL DEL PROYECTO	138
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
8. ANEXOS	160
8.1. Revisión bibliográfica publicada	160

AGRADECIMIENTOS

Este estudio no habría sido posible sin el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México, institución a la que tuve el honor de pertenecer durante mis estudios de doctorado. Quiero agradecer de manera especial al Programa de Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; el cual apoyó en todo momento los avances del estudio, permitiéndome la oportunidad de presentar mis resultados en diversos eventos nacionales e internacionales. A todo el personal administrativo y académico de la esta institución, profesores de Centro Universitario y del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano (CEIEPAA) de Tequisquiapan, quiero agradecer su apoyo y aportaciones no solo al estudio, sino también a mi formación académica y personal.

A mi tutor, el Dr. Genaro Miranda de la Lama, quien sin dejar de lado su cargo como tutor principal, desde hace muchos años se ha convertido en mi amigo, mentor y guía, a quien debo gran parte de mi desarrollo dentro del ámbito profesional y académico. A pesar de su partida fuera de México, siempre mantuvo un acompañamiento incondicional con sus alumnos para llevar a término cada una de las etapas planteadas desde el inicio. A mi comité tutor, la Dra. María Salud Rubio Lozano, quien siempre prestó atención a los pequeños detalles del proyecto, haciendo importantes aportaciones desde su experiencia como mujer de Ciencia y aportaciones de mujer a mujer; al Dr. Francisco Galindo Maldonado por facilitarnos siempre las herramientas para trabajar, por su acompañamiento, revisiones y aportaciones desde su experiencia de muchos años en el área de la etología y el bienestar animal.

A todos los productores de Querétaro y Yucatán que nos permitieron el ingreso y uso de sus instalaciones, unidades de transporte y permitirnos llevar a cabo nuestras evaluaciones con su ganado y apoyo por parte de su personal; en especial a los señores Lizardo Dorantes, Javier Portillo y Esteban Luna. A todos los conductores que nos apoyaron durante la elaboración de encuestas y a lo largo de los viajes experimentales; por permitirnos viajar con ellos, por su paciencia, apoyo y confianza, en especial a Cornelio, Cruz, Gustavo y Toño Sánchez.

A todos mis colegas, ex-alumnos y gente involucrada en el proyecto que me apoyó en todos estos años y me acompañó paso a paso todas mis metas; además de su apoyo con muestreos a horas no adecuadas, asesorías, consejos y contactos que beneficiaron al proyecto y han permitido que llegue a la culminación de esta etapa de mi vida.

RESUMEN

La presente tesis se compone de tres estudios dirigidos a caracterizar y comprender el impacto del transporte de larga distancia en el bovino de engorda en México. El primer estudio, se basó en una encuesta aplicada a 74 conductores de camiones de ganado sobre las actitudes y percepciones hacia el bienestar animal, usando el análisis multivariado se encontraron cuatro perfiles de conductores; asimismo se obtuvo la descripción y caracterización de diferentes prácticas operativas durante la etapa de transporte. Se encontró que la mayoría de los conductores tienen una edad entre los 29 y 48 años y han aprendido sobre esta actividad de manera informal, por medio de la observación y práctica con otros conductores más experimentados. Un análisis clúster mostró la existencia de cuatro perfiles o grupos de conductores, aquellos conductores en G1 y G3 se caracterizaron por mostrar una alta empatía hacia los animales, reconociendo que el ganado debería tener la oportunidad de mostrar sus comportamientos naturales y que son capaces de sentir dolor y experimentar emociones positivas y negativas. Por otra parte, G2 y G4 mostraron escepticismo hacia el bienestar animal y, fueron estos mismos grupos los que se han visto involucrados en un mayor número de accidentado en carretera ($p \leq 0.05$), por lo que las actitudes hacia el ganado podrían ser un elemento clave para identificar a aquellos con mayor riesgo de accidentabilidad. Por medio de las respuestas proporcionadas por los conductores, fue posible documentar por primera vez algunas de las prácticas y características más comunes del transporte de ganado en México. Estos resultados mostraron que el 70% de los animales proviene de sistemas de cría en el sureste del país; el ganado entre 390 y 550 kg es transportado para su finalización en corrales de engorda en el centro y el norte, con viajes superiores a 24 horas en donde se observaron pérdidas de peso de 53.50 ± 6.99 kg, equivalente a un 10.7% de su peso vivo. Además, los viajes se caracterizaron por ser superiores a los 1,000 km, que corresponde a la distancia que recorre el ganado; aunque los trayectos para los conductores son del doble de esta distancia, por lo que casi el 77% de los transportistas encuestados afirmaron consumir diferentes sustancias para evitar la somnolencia. Durante los viajes largos, los vehículos cargados deben pasar hasta por 7 puntos de inspección zoosanitaria lo que prolonga la duración del viaje. El segundo estudio estuvo dirigido al seguimiento y evaluación de bovinos (N=104) durante los primeros 60 días post-transporte, posterior a su llegada al corral de engorda. El primer problema detectado está relacionado con el

síndrome de fatiga bovina (BFS) que tiende a desaparecer en los 10 días posteriores al transporte; el segundo está relacionado con la presentación de signos correspondientes al complejo respiratorio bovino (CRB), que comenzaron 6 días después del transporte y persistieron hasta el día 60. Además, los compartimentos del remolque, conocidos como panza y cubierta, resultaron ser problemáticos para el bienestar animal, al estar relacionados con el cansancio posterior al transporte (panza) y con la presencia de problemas respiratorios (cubierta). Finalmente, el tercer estudio evaluó el efecto de la colocación de techos tipo invernadero (altura y cobertura) en corrales de engorda de novillos, los resultados mostraron que este recurso permitió una mejor ganancia diaria de peso 1.9 ± 0.1 vs 1.8 ± 0.1 kg ($p < 0.001$), conversión alimenticia 6.9 ± 0.9 vs 7.9 ± 0.4 kg ($p < 0.001$) y una mayor utilidad por animal, 250.6 ± 56.1 vs 193.2 ± 45.9 USD ($p < 0.001$). Además, un análisis de supervivencia en donde se evalúa el bienestar mediante el estado de salud de los animales, indicó que el número de novillos enfermos aumentó en los corrales sin techo ($p < 0.05$). Los resultados obtenidos a través de las diferentes etapas del estudio, permitirán mejorar la comprensión del sistema de producción de ganado bovino en México; del mismo modo resaltan la importancia que tienen las actitudes y percepciones de aquellas personas involucradas en el cuidado y manejo de los animales y las repercusiones que podrían tener sobre el bienestar de los animales.

Palabras claves: *Transporte de ganado, Conductores, Adaptación post-transporte, Corral de engorda, Techos tipo invernadero, Bienestar Animal.*

ABSTRACT

This thesis is composed of three studies carried out in different stages of the logistics and production chain of fattening cattle in Mexico. In the first study, by applying a survey to livestock drivers, different profiles were identified based on their attitudes and perceptions towards animal welfare, using multivariate analysis, four driver profiles were found. In addition, the description and characterization of the different operating practices during transportation was obtained. In the first stage, through surveys, it was found that most drivers are between 29 and 48 years old and have learned about this activity informally through observation and practice with more experienced drivers. A cluster analysis suggested the existence of four profiles or groups of drivers, those drivers in G1 and G3 were characterized by showing high empathy towards animals and recognized that cattle should have the opportunity to show their natural behaviors and that they are able to feel pain and experience positive and negative emotions. On the other hand, G2 and G4 showed skepticism towards animal welfare, it was these same groups that were involved in more accidents on the road ($p \leq 0.05$), hence attitudes towards cattle could be an elemental key for identify those with the highest risk of accidents. Through the responses provided by the drivers, it was possible to document for the first time some of the most common practices and characteristics of cattle transportation in Mexico; the results showed that 70% of the animals come from breeding systems in the southeast of the country; cattle between 390 and 550 kg is transported to feedlots in the center and north, with trips of more than 24 hours, with weight losses of 53.50 ± 6.99 kg, equivalent to 10.7% of their live weight. In addition, the trips were characterized by being greater than 1,000 km, which corresponds to the distance traveled by cattle; although the journeys for drivers are twice this distance, which is why almost 77% of the surveyed drivers declared that they consume different substances to avoid sleepiness. During long trips, loaded vehicles must go through up to 7 zoosanitary inspection points, what lengthens the duration of the trip. The second study was aimed at the monitoring and evaluation of steers (N=104) during the first 60 days post-transport, after their arrival at the feedlot. In this study on post-transport consequences during the first 60 days, two main problems that affect the fitness of the animals during the first two months in the feedlot were observed. The first related to bovine fatigue syndrome (BFS) that seemed to disappear after 10 days of transport; the second related to the presentation of signs of the presence of bovine respiratory complex (BRC), which began 6 days after transport and persisted until day 60. In addition, the compartments of the trailer known as belly and deck, turned out to be particularly problematic for animal welfare, as they are related to post-transport fatigue

(belly) and the presence of respiratory problems (deck). Finally, in the third study where the effect of placing greenhouse roofs in steer feedlots was evaluated (height and cover); the results showed a better daily weight gain of 1.9 ± 0.1 vs. 1.8 ± 0.1 kg ($p < 0.001$); feed conversion 6.9 ± 0.9 vs 7.9 ± 0.4 kg ($p < 0.001$) and a utility per animal of 250.6 ± 56.1 vs 193.2 ± 45.9 USD ($p < 0.001$). In addition, a survival analysis where animal welfare is assessed by the health status of the animals, indicated that the number of sick steers increased in the pens without roof ($p < 0.05$). The results obtained through the different stages of the study will allow a better understanding of the cattle production system in Mexico; in the same way, they highlight the importance of the attitudes and perceptions of stockpeople and the repercussions that they could have on animal welfare.

Keywords: *Cattle transport, Livestock drivers, Post-transport adaptation, Feedlot, Greenhouse-roofs, animal welfare.*

1. INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XX, había una mayor interacción entre productores y quienes consumían sus productos, lo que facilitaba la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes; esto era posible debido a la baja demanda (Scalco *et al.*, 2021); sin embargo, con el aumento de la población y la tendencia global a la urbanización, esta interacción ha cambiado significativamente. El transporte de ganado forma parte de una estrategia de la industria para satisfacer la demanda de carne del consumidor actual, aunque todavía se tiene un conocimiento deficiente de las cadenas de suministro que conectan los lugares de producción y consumo, la globalización del comercio y el crecimiento en la demanda de proteínas de origen animal, han dado lugar a un considerable aumento en el número de animales criados, transportados y procesados (Miranda-de la Lama, 2013). La demanda de carne como fuente de proteínas está aumentando en todo el mundo, sobre todo en los países desarrollados y, cada vez más, en los países en desarrollo (Smith *et al.*, 2018); este aumento generalizado de la producción cárnica ha tenido un impacto importante en el medio ambiente, el bienestar animal y el comercio global (Maria, 2006). Algunos países con alto consumo de carne, menudencias y ganado vivo, no poseen las condiciones climáticas para la cría de estos animales, por lo que se ven obligados a realizar importaciones (zu Ermgassen *et al.*, 2020); en otros casos, la separación geográfica que existe entre los centros de cría, engorda, puntos de comercialización y matanza de ganado ha estimulado el surgimiento de cadenas de suministros más complejas. Estas pueden incluir el uso de transportes mixtos, con trayectos en camión-barco-camión y en algunos casos el uso de transbordadores, lo que inevitablemente genera un aumento en las distancias y los tiempos de transporte (Miranda-de la Lama, 2013).

En este contexto, el transporte de larga distancia es un elemento estratégico de la industria ganadera, estimando un total de 296 millones de cabezas de ganado bovino productor de carne transportadas anualmente a nivel mundial (Broom, 2008). En esta industria, México se ha convertido en un importante proveedor de ganado y carne a nivel global posicionándose como el 6° mayor productor de carne bovina en el mundo, con más de 2,081,262 toneladas producidas en 2021 (SIAP, 2021). Este volumen productivo implica una logística y transporte debido a que los centros de cría y corrales de engorda se encuentran en regiones geográficas distintas. Los animales nacen y son criados principalmente en sistemas de pastoreo en la región de clima

tropical al sureste del país, en donde la disponibilidad de forraje es alta y de bajo costo; mientras que, para su desarrollo y finalización, éstos son enviados a corrales de engorda intensivos del centro y sur del país (Peel, 2011). El impacto de la duración del transporte puede ser diferente entre individuos, pero probablemente el efecto económico más significativo y notorio es la pérdida de peso vivo, donde se incluye la excreción fecal, urinaria, transpiración y movilización de reservas corporales (Bazzini *et al.*, 2000). Existen otros efectos que no son visibles, tales como la reducción de protozoarios ruminales, resultado de la privación prolongada de alimento (Loerch y Fluharty, 1999), la deshidratación (Schaefer *et al.*, 2001), las fluctuaciones en los niveles de cortisol en plasma y su posible asociación con la presentación de complejo respiratorio bovino (CRB) (Griffin *et al.*, 2010; Deng *et al.*, 2017), así como una menor capacidad de adaptación al nuevo sistema. Estos efectos pueden observarse en el mediano y largo plazo y, aunque dependerán de diferentes factores como el ambiente, instalaciones, calidad del alimento, densidad en el corral, el sexo, edad, talla, raza, estado fisiológico y estado general de salud (Nielsen *et al.*, 2011; Wasilewski, 2020), muchas veces se ignora la relación que podría tener con el proceso de transporte y regularmente se descarta como causa del problema.

En México, los animales que se reciben en los sistemas intensivos son alimentados con dietas a base de granos importados, altas en energía y en donde se obtiene una mayor cantidad de kilogramos por metro cuadrado. Desde esta perspectiva, el establecimiento de corrales de engorda intensiva es de suma importancia para el abastecimiento de la demanda interna, la exportación y el desarrollo de una industria cárnica mexicana moderna (Parra-Bracamonte *et al.*, 2020). El uso de corrales al aire libre está aumentando en muchas partes del mundo y existen importantes preocupaciones de bienestar asociadas a este tipo de sistemas. Una de las principales es mantener los corrales secos, lo que permite a los animales desplazarse con facilidad y mantenerse limpios (Mader, 2011); mientras que el otro problema es el estrés por calor causado principalmente por la falta de sombra. Desde la década de 1970, se han construido muchos corrales de engorda en áreas de escasas precipitaciones de los Estados Unidos de América, el norte de Australia, América del Sur y México (Grandin, 2016). En años recientes, con la finalidad de mejorar la eficiencia en el corral de engorda y para proteger a los animales de los encharcamientos, condiciones frías y ventosas durante el invierno, así como minimizar

la radiación solar y el estrés por calor, se observó entre productores mexicanos, una creciente tendencia a instalar diferentes tipos de techos, principalmente sombras de lámina, malla sombra y techos de tipo invernadero en la región del Bajío (Valadez *et al.*, 2020), cuyos beneficios empiezan a ser estudiados en diferentes estados del país.

En este contexto, esta tesis se ha basado en la investigación de viajes de larga distancia, el papel del personal involucrado en su manejo desde el lugar de origen y las repercusiones en el bienestar, salud y productividad del ganado desde un punto de vista integrativo. Lo anterior, con la finalidad de que la información recopilada pueda retroalimentar a los grupos de interés de la cadena cárnica mexicana y que ofrezca un punto de partida para el establecimiento y cumplimiento de estándares mínimos de bienestar animal antes, durante y después del transporte; así como recomendaciones para una mejor preparación, capacitación y resguardo de la seguridad del personal. Lo anterior, en la búsqueda constante de un desarrollo y mejora en las condiciones de producción de carne bovina, que les permita acceder a nuevos y diferentes mercados más competitivos.

2. ANTECEDENTES

2.1. Sistemas de producción cárnica

La seguridad alimentaria y la sostenibilidad son objetivos primordiales de la política mundial en el siglo XXI (Appleby y Mitchell, 2018). El bienestar animal es un elemento crucial para la sostenibilidad de la industria agroalimentaria y es un término utilizado para expresar preocupaciones éticas sobre la calidad de vida que experimentan los animales, en particular aquellos utilizados para la producción de carne (Hansen y Østerås, 2019). Los animales de granja son criados de acuerdo con las posibilidades y condiciones de cada país, sin embargo, su bienestar y consumo a nivel mundial y regional reciben una atención significativa en las sociedades contemporáneas (Estévez-Moreno *et al.*, 2022). Hay un papel cada vez más activo de los consumidores en la estructuración de las políticas de calidad alimentaria, las cuales provocan cambios en la percepción de los consumidores de carne en diferentes partes del mundo (Vargas *et al.*, 2017; Scalco *et al.*, 2021).

La decisión de los consumidores está siendo afectada por diferentes aspectos y existe un creciente movimiento de consumidores que valora productos que agregan un conjunto de elementos como sostenibilidad, transparencia, trazabilidad, arraigo (ecológico y social), localismo, identidad regional y de cultura, confianza, modo de producción (Jarzębowski *et al.*, 2020; Scalco *et al.*, 2021) y bienestar animal durante los procesos de producción, transporte, matanza (Paranhos da Costa *et al.*, 2012). Por ello, la industria cárnica a nivel mundial, enfrenta desafíos que anteriormente no eran considerados de importancia dentro de este rubro. Estos desafíos implican aumentar la productividad total para poder satisfacer a una población creciente, mientras se mantiene la rentabilidad del negocio, la calidad del producto, además de minimizar el impacto ambiental e integrar los conceptos de bienestar animal mediante certificaciones privadas y nuevas regulaciones gubernamentales más estrictas (Montossi *et al.*, 2018; Niederle y Silva, 2020). Para los países de Latinoamérica, las regulaciones se han adaptado debido al aumento de las exportaciones a los mercados europeos (World Animal Protection, 2013; Ghislain, 2018). Por otra parte, la evidencia científica reciente (especialmente en México, Chile y Brasil) ha indicado una creciente preocupación social en cuanto a los temas de bienestar y sus implicaciones éticas, sociológicas y políticas (Vargas *et al.*, 2017). México se ha demorado en actualizar su normativa sobre bienestar animal, que incluye lineamientos sobre el transporte, aturdimiento y matanza (Miranda de la Lama *et al.*, 2012b). Sin embargo, incluso con

la actual recesión económica, los consumidores mexicanos aún compran productos animales de alta calidad como la carne, huevos y leche. La motivación del mexicano para comprar estos productos con atributos mejorados de bienestar animal, está estrechamente relacionada con las características demográficas de los consumidores, su conocimiento sobre bienestar animal, su confianza en la información sobre sistemas de crianza y actitudes (Miranda de la Lama *et al.*, 2017). Por estas razones, es fundamental comprender las actitudes de los diferentes segmentos de consumidores para ayudar a otros investigadores, industriales y creadores de políticas públicas a desarrollar estrategias que se ajusten a su sociedad (Estévez-Moreno *et al.*, 2022).

2.1.1. Sistemas de producción de bovino para carne

La producción de carne bovina contribuye a la economía, el desarrollo rural, la vida social, la cultura y la gastronomía de los países. La diversidad resultante de razas y tipos de animales (vacas, toros, novillos, novillas, terneros) así como de sistemas utilizados para la cría (intensivo con ganado en condiciones de confinamiento, extensivos en pastos permanentes o temporales, mixtos o semi-intensivos y sistemas silvopastoriles) representa una gran ventaja del sistema de producción, aunque a su vez, representa una debilidad ya que la industria suele estar segmentada y poco conectada entre los diferentes eslabones; si bien existe una diversidad climática importante en México, la forma en la que los sistemas de producción se encuentran estructurados es muy similar a los sistemas en Norteamérica (Peel *et al.*, 2011; Smith *et al.*, 2018). En general, la producción de bovino para carne se divide en tres sectores; sistema vaca-becerro, ganado de acopio (recrea o pre-engorda) y corral de engorda o finalización (Endres y Schwartzkopf-Genswein, 2018; Villanueva-Partida *et al.*, 2019). La naturaleza segmentada del modelo de producción de carne de ganado bovino, es una característica estructural importante que involucra la interacción entre varios sistemas. El primero, es el sistema vaca-becerro que se basa en la producción extensiva centrada en la cría de vacas y toros con la meta de producir un becerro por vaca al año. Este sistema produce becerros de forma semiestacional, la mayoría de los becerros nacen en la primavera, aunque un número significativo de becerros nace durante el resto del año. Los becerros se mantienen en los potreros y son destetados aproximadamente a los 6 meses en Europa y Norte América, aunque para México se han reportado promedios de destete menores a los 6 meses, mientras que en

Sudamérica se realiza entre los 7 y 9 meses. Con esta edad pueden ser vendidos inmediatamente a los corrales de engorda o bien, ser acopiados y mantenidos hasta aproximadamente los 12 o 14 meses de edad, lo cual dependerá de la disponibilidad de pastos, sobre todo en sistemas estacionales (Rivera *et al.*, 2014). Este sistema, utiliza un mínimo de insumos en comparación con el corral de engorda y solo requiere que los potreros estén delimitados por barreras naturales o artificiales para facilitar su manejo y el acceso a refugio contra las inclemencias del tiempo (Endres y Schwartzkopf-Genswein, 2018; Groves, 2020).

En el siguiente sistema se da énfasis al crecimiento y desarrollo del animal previo a la engorda. Aquí se encuentran todos aquellos animales destetados que serán destinados a la venta como ganado de engorda comercial. Los animales entran en la etapa de pre- engorda con un peso aproximado de 225 kg (Rivera *et al.*, 2014) y son colocados en potreros con pastos nativos, pudiendo ser suplementados hasta alcanzar un peso aproximado de 400 kilogramos (ganado de media ceba) (Johnson *et al.*, 2010; Millen *et al.*, 2014). El sistema de terminación o finalización del ganado producido bajo los sistemas anteriores, se realiza en los corrales de engorda y es esencialmente constante durante todo el año para satisfacer de manera eficiente las necesidades de la industria empacadora de carne (Groves, 2020). El corral de engorda representa un sistema de producción intensivo que tiene el objetivo de cría y/o engorda de ganado hasta la última etapa en donde alcanza el peso para la matanza; este tipo de producción puede ser en corrales abiertos o cerrados, dependiendo las condiciones geográficas. En la fase de finalización, la alimentación se centra en dar al ganado raciones de bajo contenido de fibra (forraje) y alto contenido de energía (grano); se sabe que, en corrales intensivos, el bovino utiliza 3.7 veces menos alimento que en pastoreo para producir la misma cantidad de carne, pero tiene elevados costos de infraestructura (corrales, áreas de manejo, etc.), y altos costos de alimentación, medicamentos y mano de obra (Millen *et al.*, 2009; Endres y Schwartzkopf-Genswein, 2018).

En México, el ganado productor de carne se encuentra distribuido a lo largo de todas las regiones del país y el tipo de sistema se encuentra definido por los factores climáticos de las diferentes regiones. En el norte, predominan los sistemas de engorda intensivos en confinamiento al aire libre, así como la cría de ganado con un mercado

de exportación de ganado en pie hacia Estados Unidos (becerros menores a 200 kg). En menor proporción, pero de manera creciente el ganado de la costa del Golfo y del sur es alimentado en corrales o son finalizados en sistemas semi-intensivos de pastoreo con suplementación (Peel *et al.*, 2011). El ganado está siendo movilizado cada vez en mayor cantidad desde la región sur de país, principalmente desde los estados de Chiapas, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Oaxaca; además de un número no regulado de animales provenientes de países de América Central. El flujo de animales es constante, en este sentido, el transporte de larga distancia tiene un papel fundamental para el abastecimiento de los corrales de engorda de todo el país, pero también representa un desafío importante para la industria mexicana, debido al volumen de animales movilizados, la falta de empresas especializadas en este proceso y los problemas de seguridad pública (Valadez-Noriega *et al.*, 2018).

2.1.2. Estadística de la producción de carne en México y el mundo

Con más de 300 millones de cabezas de ganado bovino, India fue el país de mayor inventario en 2021, seguido por Brasil y China; estos tres países representan el 65% del inventario de ganado mundial en 2021; mientras que México ha pasado a ocupar el 9° lugar con un inventario de 17 millones de cabezas (USDA, 2021). La demanda global de carne se expandirá considerablemente durante la siguiente década a una tasa aproximada de 1.6%, lo que significa una demanda adicional de 58 millones de toneladas para el año 2023 (FAO, 2017).

Estados Unidos fue el mayor productor de carne bovina del mundo en 2020, con poco más de 12 millones de toneladas métricas de carne, las cuales representaron aproximadamente el 20% de la producción mundial. Estados Unidos estuvo seguido de la Unión Europea (UE) y Brasil, este último exporta a más de 152 países (Zu Ermgassen; *et al.*, 2020; USDA, 2021). En conjunto, la UE y Brasil representaron aproximadamente el 50% de la producción mundial de carne de bovino. China continúa siendo el mayor importador de carne con una proyección de 2,850 toneladas métricas al finalizar 2021; mientras que Brasil es el principal exportador con 2,670 toneladas métricas. Se espera que la producción en India, Canadá y Estados Unidos se recupere después de que las interrupciones en el procesamiento relacionadas con COVID-19, impactaron negativamente en la matanza en 2020.

En México, el consumo per cápita de carne de res fue de 15.1 kg en 2021. La producción nacional de carne de bovino se concentra en Veracruz (31%), Jalisco (28%), San Luis Potosí (19%), Durango (13%) y Baja California (13%). Con un total de 2,120,000 toneladas métricas de carne de bovino, el país ocupa el 7° lugar en producción de carne a nivel mundial, aunque esta cantidad representa sólo un 4% (USDA, 2021; AMEG, 2021). Durante 2020, la exportación de becerro en pie (1.53 millones de cabezas) y carne (302 mil toneladas) rompió un nuevo récord; mientras que las importaciones de carne bajaron 13.7% (167 mil toneladas) (AMEG, 2021).

2.2. Transporte de ganado y logística

El transporte es una etapa inevitable en la vida de los animales de producción con fines de cría, exhibición, engorda y matanza (Šímová *et al.*, 2016). Varios factores solos o en combinación determinan el grado de bienestar durante el transporte (Schwartzkopf-Genswein, 2012; Tucker *et al.*, 2015). Aunque el transporte puede realizarse por barco, aire o tren, en la actualidad los animales se transportan principalmente por mar y por carretera (Rojek, 2021). En general, el diseño de los camiones y su impacto en el ganado ha sido pobremente estudiado y, hasta el momento se han realizado pocos esfuerzos para optimizar el diseño del camión para mejorar el confort de los animales. Después de la salida de la granja, múltiples factores tienen un impacto en el bienestar de los animales, pero el diseño de los vehículos o remolques juega un papel clave en el estrés relacionado con el transporte (Faucitano y Goumon, 2018; Moak, 2021).

La investigación proporciona las bases científicas para mejorar el diseño y operación de los camiones utilizados para el transporte de ganado, asimismo permite implementar la legislación y los códigos de prácticas encaminados a optimizar el bienestar y la productividad en relación con el transporte de ganado en viajes de corta y larga duración (Mitchell y Kettlewell, 2008). Derivado de este esfuerzo, recientemente ha surgido en Europa la certificación “Animal Welfare on Wheels” que permite identificar a los operadores que cumplen las condiciones de bienestar de los animales durante su transporte en vehículos terrestres (ACERTA, 2021).

Para los bovinos, el período de transición entre el lugar de cría y el corral de engorda es uno de los momentos más desafiantes en su vida desde una perspectiva de bienestar. Esto está relacionado con los múltiples factores estresantes a los que están expuestos los animales durante las diferentes etapas que conforman al proceso de transporte, tales como el destete, la castración, el descornado, la identificación, señales sonoras, visuales y olfativas, la mezcla social, vibración, variaciones de temperatura, riesgo de lesión, restricción espacial, ayuno y acceso limitado al agua (Miranda-de la Lama *et al.*, 2014; Tomczak *et al.*, 2019). Adicionalmente, en América del Norte los novillos son expuestos a otros factores estresantes luego de su llegada al corral de engorda, como es el caso de la vacunación y aplicación de otros medicamentos, exposición a una nueva dieta y un entorno novedoso que incluye corrales, bebederos y comederos (Tucker *et al.*, 2015; Endres y Schwartzkopf-Genswein, 2018).

Los principales problemas asociados al transporte terrestre son el diseño y mantenimiento de los vehículos, las horas de viaje, la calidad de las vías de comunicación, así como la capacitación y calidad de conducción del transportista (Valadez-Noriega y Miranda-de la Lama, 2018); de manera particular, en México se ha descrito un problema de bienestar laboral en la práctica de conducción de transporte de ganado relacionado principalmente con un alto porcentaje de accidentabilidad (Valadez-Noriega *et al.*, 2018). Las diferentes actitudes y situación socioeconómica de la población, han sido las principales razones por las cuales el bienestar animal muchas veces no es considerado como un tema prioritario. Los recursos disponibles se dirigen a estrategias para satisfacer las necesidades básicas de población (servicios de salud, educación, seguridad alimentaria, vivienda, etc.), por lo que, es posible afirmar que los principales problemas de bienestar en los animales, tienen una estrecha relación con los bajos ingresos de la población. Se han realizado pocos estudios y es un tema emergente, pero el bienestar de los animales de abasto durante el transporte únicamente cobra importancia para aquellos países cuyo objetivo son los mercados de exportación (Gallo, 2008; Vargas *et al.*, 2017). Mientras las exigencias de los países importadores están cambiando, la información disponible sobre el transporte de ganado en México es aún escasa y la normatividad vigente en el país no ha sido actualizada desde su creación hace 25 años. Existe la “Norma Oficial Mexicana: Trato humanitario en la movilización de animales” (NOM-051-ZOO,

1995), la cual establece requisitos puntuales para el transporte de diferentes especies animales; sus declaraciones carecen de información, están desactualizadas y son muy generales, colocando al país en una desventaja competitiva. Más recientemente, los Manuales de Buenas Prácticas Pecuarias para Ganado en Confinamiento de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), incluyen un apartado sobre bienestar animal y otro sobre transporte y recepción de ganado, a pesar del esfuerzo por destacar estas importantes áreas que forman parte de la cadena de producción, la información es muy limitada y de aplicación voluntaria.

2.2.1. Bases del comportamiento bovino aplicado al transporte

Los bovinos dependen en mayor medida de la visión, olfato y audición para poder evaluar estímulos y así responder a diferentes situaciones, como cambios en el ambiente o eventuales amenazas. La capacidad del bovino para pastar selectivamente depende principalmente de la vista y el olfato, ya que la sensibilidad de estos sentidos les permite detectar áreas con ciertos tipos de forraje a distancia (Hirata *et al.*, 2019). Esta especie, tiene la capacidad de distinguir entre la luz de longitud de onda roja, azul y la verde; no obstante, en comparación con los humanos, tienen una capacidad muy limitada para diferenciar el verde del azul, por lo que es posible decir que la visión del bovino es dicromática. La capacidad del ganado para diferenciar entre longitudes de onda, es la razón por la cual los cambios en la coloración de paredes, pisos y áreas de carga y descarga no son recomendables ya que pueden tornarse en una distracción (Phillips y Lomas, 2001; Ludtke *et al.*, 2012). Mantener la uniformidad del color facilita el manejo de estos animales. Los ojos de los bovinos están localizados en la parte lateral de la cabeza, su visión binocular es de entre 30 y 50° y no tienen percepción de la profundidad; si necesitan enfocar algo inclinarán la cabeza para verlo con mayor claridad. La altura del embarcadero, la entrada del camión, el tipo de piso de las rampas y el camión, son ejemplos de situaciones que hacen que el ganado utilice su visión binocular, por lo cual, ésta es de vital importancia durante los procesos de embarque y desembarque. Por otra parte, su visión monocular es amplia (170 – 210°) y les permite tener una amplia visión de todas las personas, animales y el ambiente al momento que están siendo movilizandos, excepto directamente detrás de ellos en su “zona ciega” (15 – 30°), la cual debe evitarse durante el manejo para que el ganado pueda ubicar a la persona que los está arreando. La comunicación a través del olfato es importante durante el

comportamiento social, ya que les permite reconocer animales y su jerarquía; en situaciones de tensión puede haber liberación de feromonas a través de orina, sangre y saliva, lo que alerta a otros sobre la situación estresante en la que se encuentran (Ludtke *et al.*, 2012). Diferentes trabajos han demostrado que los bovinos muestran respuesta de evitación y otras reacciones de miedo cuando se enfrentan al olor de la orina de sus congéneres estresados, de igual manera que evitarán alimentarse en presencia de olores fecales y urinarios de los depredadores (Terlouw *et al.*, 1998). Los bovinos son animales muy sensibles a los sonidos de alta frecuencia en comparación con las personas, durante los procesos de carga y descarga es recomendable evitar los silbidos y gritos. Cuando perciben un sonido mueven las orejas procurando los ruidos de su interés y las posicionan en el mismo sentido en donde se origina dicho sonido. Por otra parte, los bovinos evolucionaron en lugares abiertos en donde conseguían visualizar fácilmente a los miembros del rebaño, por lo que las vocalizaciones son poco utilizadas (Ludtke *et al.*, 2012). Las vocalizaciones del ganado no siempre pueden ser indicativas de una experiencia negativa; sin embargo, múltiples estudios con protocolos dolorosos o estresantes que involucran al ganado, con frecuencia, informan que las vocalizaciones están asociadas con estos procedimientos y, por tanto, como un indicador de angustia y/o dolor en los animales (Yoshihara y Oya, 2021). Las vocalizaciones pueden usarse como indicador cuando se hace uso excesivo del arreador eléctrico durante la carga y descarga o cuando algunos animales caen dentro de las instalaciones de embarque, rampas o camión y son lastimados por otros que les pasan por encima (NAMI, 2021).

Las ventajas adaptativas de la vida social, llevó a los bovinos al desarrollo de interacciones y relaciones sociales entre los miembros del grupo (Puppe *et al.*, 2008), con jerarquías bien establecidas. El instinto gregario se manifiesta como un comportamiento innato de supervivencia, por lo que la necesidad de estar dentro de un grupo; explica que en todo momento deban ser conducidos en grupo, un animal que se separa del grupo tenderá a cambiar su comportamiento y se tornará más agresivo y agitado (Puppe *et al.*, 2008). El ganado tiene buena memoria de corto y largo plazo, consiguen recordar hechos que ocurrieron durante la crianza y pueden ser condicionados a una rutina de manejo; la respuesta de los bovinos al manejo durante su acopio, arreo y transporte estará directamente relacionada con la forma en que fueron manejados a lo largo de su vida; aquellos animales que tuvieron poco

contacto con humanos o que fueron sometidos a manejos agresivos, tendrán reacciones de miedo intenso y esto podrá dificultar su manejo durante el proceso de transporte (Ludtke *et al.*, 2012). En muchas ocasiones la reacción de los animales está fuertemente influenciada por el miedo, tanto la experiencia previa como los factores genéticos que influyen en el temperamento, interactuarán de formas complejas para determinar el grado de miedo de un animal cuando es manejado (Grandin, 1997; Ludtke *et al.*, 2012). Todas estas características comportamentales y sensoriales en los animales, así como el estilo de conducción y entrenamiento de los conductores deben considerarse cuando el transporte a realizar será el de carga viva.

2.2.2. Logística aplicada al transporte

El aumento en el tamaño de las empresas ganaderas y los requisitos de gestión de la calidad obligan a los productores a cuestionar los procedimientos existentes y desarrollar nuevas cadenas de transporte (Bernhardt *et al.*, 2008). La gestión de la cadena logística debe procurar un movimiento fluido de las operaciones, mediante un suministro preciso de información y la utilización efectiva de recursos para que esta sea eficaz (Ljungberg *et al.*, 2007; Miranda de la Lama *et al.*, 2009). El transporte de animales representa un desafío para los conductores y las empresas de transporte, ya que cualquier falla en la logística compromete al bienestar y tiene efectos negativos sobre la calidad de la carne, incluso en condiciones comerciales óptimas (Ljungberg *et al.*, 2007; Miranda de la Lama *et al.*, 2009). El impacto del estrés en esta etapa se ha subestimado en el pasado y es importante invertir en mejoras durante el manejo y transporte previo a la matanza (Miranda de la Lama *et al.*, 2009); coordinar todas las operaciones es una tarea compleja que requiere muchas consideraciones, por consiguiente, se requiere del desarrollo de un proceso de planificación dinámico y sistemas logísticos eficaces, teniendo en cuenta las condiciones de la carretera y la optimización de rutas, el tráfico, el clima, el tiempo, la distancia de transporte, las paradas de descanso y los tiempos de espera antes de la descarga en el lugar de destino (Ljungberg *et al.*, 2007). Es necesario considerar todos los factores que puedan alterar la logística del viaje, tales como los retrasos por clima, la elección de carreteras en buen estado, reducir los tiempos de transporte eliminando tiempos de espera en puntos de verificación e inspección zoonosanitarios, evitar la congestión del tráfico y los tramos de carreteras donde suelen producirse accidentes, o rutas peligrosas en donde haya riesgo de asaltos (Šímová *et al.*, 2016; Valadez-Noriega *et*

al., 2018). La mayoría de los factores antes mencionados pueden evitarse o reducirse mediante planeación y el establecimiento de procedimientos operativos para emergencias y accidentes disminuyendo los efectos que estos eventos pudieran tener sobre los los animales (Pederson *et al.*, 2018).

2.2.3. Preparación pre-transporte

La etapa que antecede al transporte está conformada por una serie de procedimientos que inducen estrés de manera aditiva en cada etapa. Estos procedimientos incluyen el manejo previo en origen, el acopio de animales, la clasificación, el pesaje, la reagrupación y la mezcla social, así como el procedimiento de carga, que, de acuerdo con diferentes estudios, ha resultado ser uno de los manejos más estresantes y con efectos más adversos en el bienestar de los animales (Maria *et al.*, 2004; Šímová *et al.*, 2016). El manejo aversivo en estas etapas, tiene una influencia negativa en el comportamiento de los animales, sobre todo en aquellos extraídos de sistemas extensivos, lo que produce que los animales teman a los humanos y resulta en un aumento en los niveles de estrés al inicio del viaje (Fisher *et al.*, 2009; Ceballos *et al.*, 2018). Es importante destacar que animales con poco contacto con el humano o temperamento agresivo, tendrán mayores posibilidades de estresarse, lesionarse a sí mismos y/o lesionar a los manejadores, debido a la respuesta excesiva o a la agresión inducida por el miedo (Fisher *et al.*, 2009; Aghwan *et al.*, 2016). Se ha propuesto que la experiencia previa puede afectar la reactividad de un animal, el ganado más dócil pierde menos peso durante el transporte y tiende a una recuperación más rápida una vez que continúa con su ciclo productivo (Colditz *et al.*, 2006; Fisher *et al.*, 2009).

Las actividades asociadas al transporte inician con el acopio de animales que puede comenzar hasta 48 horas previas a la carga del ganado, debido a que deben ser agrupados a lo largo de grandes extensiones en los sistemas de cría. La cantidad y duración de las prácticas previas a la carga, tales como la privación de comida y agua, representa un desafío con un costo biológico elevado y predispone a un nivel bajo de reservas energéticas y a la deshidratación, la cual se exacerba con el aumento de la diuresis asociada al estrés (Hoffman y Lühl 2012; Tomczak *et al.*, 2018). Animales en malas condiciones, no tienen la misma capacidad para soportar largas duraciones de transporte (Fisher *et al.*, 2009). La identificación de los efectos potenciales del transporte en animales con enfermedades o lesiones requiere un

examen de las condiciones preexistentes en relación con los desafíos fisiológicos del transporte. Este examen indica cómo es probable que estas condiciones afecten la capacidad de un animal para hacer frente al transporte y aumentar potencialmente el riesgo de sufrimiento (Cockram, 2019). Los animales que presentan lesiones importantes antes de la carga, corren el riesgo de sufrir más dolor si son transportados debido a que el movimiento o la presión sobre un área dolorosa de inflamación, como una articulación artrítica, causa dolor adicional; es altamente probable que el movimiento del tejido sensible durante la carga, descarga, en respuesta a los movimientos de vehículos u otros animales provoque dolor adicional (Cockram, 2019). Desde el punto de vista de la gestión logística, los animales son movilizados como un grupo homogéneo, en donde se asume que todos los individuos que lo integran se encuentran en las mismas condiciones, pero incluso en grupos con individuos muy similares, se pueden encontrar diferencias importantes que pueden tener impactos positivos o negativos en su bienestar. Por lo anterior, es indispensable minimizar estas diferencias realizando una categorización de los animales previo al transporte. El ganado bovino, puede ser dividido en grupos según la edad y la categoría: becerros, ganado para engorda, ganado finalizado, de descarte y reproductores, cada uno requiere de manejo y condiciones de viaje particulares. En este sentido, se ha encontrado en becerros que la morbilidad post-transporte puede reducirse en los lotes de animales que son destetados hasta 45 días antes de ser movilizados, en comparación con los animales que son transportados inmediatamente después del destete (Step *et al.*, 2008). Estos animales jóvenes están particularmente mal adaptados para hacer frente al transporte debido a que no están adaptados al consumo de alimento y su consumo de materia seca no es estable, por lo que sus reservas energéticas suelen ser bajas; adicionalmente, su sistema inmunológico no está completamente desarrollado y la respuesta de los linfocitos a la estimulación con mitógenos es reducida (Arthington *et al.*, 2003), siendo especialmente vulnerables al estrés de transporte prolongado que resulta en una alta morbilidad (por diarrea, neumonía) y tasas de mortalidad de entre el 1% y 23% (Knowles *et al.*, 1995; Ashenafi *et al.*, 2018). Por su parte, el ganado de engorda que haya alcanzado el peso que se requiere para venta, tendrá requerimientos específicos de espacio (Tarrant *et al.*, 1988), mientras que los requerimientos para animales de descarte y los desafíos asociados con su transporte son mayores, ya que son animales que generalmente se encuentran débiles, enfermos o lesionados (Cockram, 2019; Cockram, 2021).

2.2.4. Carga – descarga

El proceso de carga es más estresante y aversivo que la descarga, pero los riesgos en la integridad física del animal son similares en ambos casos (Maria *et al.*, 2004; Stockman *et al.*, 2011). La carga de animales y las primeras etapas del transporte causan altos niveles de estrés con un marcado aumento de la temperatura corporal, ritmo cardíaco y respiratorio, y activación del eje hipotálamo-pituitario-suprarrenal, que da como resultado un aumento de las concentraciones de glucosa, cortisol y ácidos grasos no esterificados en la sangre (Swanson y Morrow-Tesch, 2001). Los corrales utilizados para el agupamiento de los animales previo a la carga permiten inspeccionar a los animales con el fin de separar a aquellos que no sean aptos para ser transportados (Villaruel *et al.*, 2001; Becerril-Herrera *et al.*, 2009). Dichos corrales deben estar equipados con instalaciones de agua para que los bovinos puedan tener acceso a ella en todo momento y nunca deben construirse con inclinación, ya que esto hace que el ganado se amontone contra la puerta de circulación (Grandin, 1990; Becerril-Herrera *et al.*, 2009). De manera ideal, las instalaciones de espera deberían ser construidas al nivel de la cubierta del camión para eliminar las rampas, pero cuando estén presentes, las rampas deben estar limpias, bien iluminadas y su inclinación no debe exceder los 20° si es una rampa fija; en el caso de una rampa ajustable, la inclinación no debe ser mayor a 25°. Cuando se usan escalones, estos deben ser de 10cm de alto y 30cm de largo (Grandin, 1990; OIRSA, 2016; HFAC, 2020). El compartimento de carga debe ajustarse completamente al embarcadero, sin dejar ningún espacio que dificulte o que represente un riesgo de lesión para los animales; cuando las instalaciones impidan que haya este ajuste entre el vehículo y el embarcadero, se considera adecuado si el espacio entre ambos es <5 cm (Ludtke *et al.*, 2012; Huertas *et al.*, 2018). El ajuste de los vehículos al área de carga dependerá del tamaño de los vehículos y el tipo de puerta. Un vehículo cuya puerta trasera se abre en todo el ancho se podrá cargar con una rampa del mismo ancho que el vehículo, aunque la mayoría de los camiones grandes tienen una puerta que es lo suficientemente ancha para permitir el paso de una fila única de bovinos (Grandin, 1990).

Cuando la comercialización de los bovinos se realiza a través de ferias y subastas comerciales, los animales son expuestos a varios procesos de carga y descarga, en diferentes vehículos, tamaños y tipos de rampas, que pueden ser o no

adecuados para su talla. Durante este tipo de comercialización, se presentan un mayor número de interacciones humano-animal principalmente negativas, debido a una mayor reactividad de los bovinos expuestos a ambientes novedosos (Waiblinger *et al.*, 2006) y a personal con el cual los animales no están familiarizados, estos estresores desencadenan pérdidas de peso, animales fatigados, deshidratados y un aumento la probabilidad de contusiones y lesiones (Strappini *et al.*, 2012; Romero *et al.*, 2013; Herrán *et al.*, 2017) y riesgo de accidente para el personal, por lo anterior, los procesos de carga y descarga siempre deben estar supervisados por una persona responsable y entrenada. El encargado podrá ser profesional o técnico del área agropecuaria o una persona que tenga la capacitación en manejo y bienestar animal (SAG, 2013). Los requisitos necesarios para un buen manejo son un nivel mínimo de habilidad por parte del manejador, un nivel mínimo de experiencia y una actitud adecuada, lo que debería de estar respaldado por incentivos adecuados (Šímová *et al.*, 2016; Ceballos *et al.*, 2018). Según Villarroel (2001), el bienestar del ganado depende en gran medida de las actitudes y la formación de los ganaderos y de la disponibilidad de instalaciones adecuadas.

2.2.5. El viaje: larga distancia

De acuerdo con la Unión Europea, los viajes se pueden clasificar en viajes cortos (menores a 8 horas), largos (entre 8 y 24 horas) y muy largos (mayores a 24 horas; Massot *et al.*, 2021). En México, de acuerdo con estudios realizados recientemente, los viajes para el acopio de ganado se encontrarían bajo la clasificación de viajes largos y muy largos (Valadez-Noriega *et al.*, 2018). La información recopilada sobre el proceso de transporte y post-transporte es escasa en México y países latinoamericanos, lo que dificulta el desarrollo de recomendaciones que tengan aplicabilidad para las condiciones de cada país, así como el impulso de nuevas regulaciones gubernamentales. En aquellos países con legislación vigente, la tendencia es que existe poca vigilancia para su cumplimiento (47.95%) o bien, las sanciones no llegan a ser aplicadas (20.8%) (Valadez y Miranda de la Lama, 2018) o se aplicada de forma incorrecta (Gallo y Tadich, 2008).

La legislación de la Unión Europea exige que, en los viajes de larga distancia, a los animales se les permita ser descargados para ofrecerles agua, alimento y reposo con la finalidad de reducir el estrés en tránsito (Massot *et al.*, 2021); sin embargo, el número y la duración de estas escalas está en debate. Actualmente, se ha

argumentado, que estas paradas implican un mayor manejo del ganado y que, los procesos múltiples de carga y descarga llegan a causar un estrés adicional; en la práctica, los transportes de larga distancia se llevan a cabo sin paradas para el descanso de ganado y, por consiguiente, es importante prestar atención a los factores que sí puedan ser controlados por los operadores involucrados en el traslado de los animales por carretera (Nielsen *et al.*, 2011). Una vez que el ganado se encuentra dentro del vehículo, los factores propios de un recorrido que serán determinantes para la calidad del viaje son la duración del recorrido y la cantidad y duración de las paradas, niveles de vibración, iluminación, ventilación, condiciones climáticas, principalmente temperatura y humedad, diseño del vehículo y densidad, mezcla social, condiciones del camino, estilo de conducción como velocidad del vehículo, frenado y giros, así como el establecimiento de protocolos de emergencia (Nielsen *et al.*, 2011; Miranda-de la Lama, 2013; Wasilewski, 2020).

Diseño y densidad del transporte. Los vehículos para ganado deben ser diseñados, construidos y mantenidos de manera que protejan a los animales de las inclemencias del tiempo, temperaturas extremas, cambios adversos en las condiciones climáticas y lesiones (Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2012). En general, se utilizan cuatro tipos de vehículos especializados: camiones pequeños (≤ 3 ton), unidades individuales (>13 m de longitud), semirremolque y doble semirremolque (Miranda-de la Lama *et al.*, 2014). Son recomendables rampas internas que no tengan inclinación excesiva, techo, pisos antideslizantes, paredes laterales que eviten que cualquier parte del animal salga del camión, separaciones abatibles que permitan la separación de los animales en subgrupos, puertas laterales de inspección y control de temperatura (Pezzaioli, 2016). En México, el transporte más común para la movilización de ganado bovino, es el mismo que el utilizado en Canadá y Estados Unidos de América y consiste en un remolque de aluminio conocido como “pot-belly” (Weschenfelder *et al.*, 2013), conocido en México como jaula ganadera. Los remolques están fabricados a base de aluminio y pueden dividirse hasta en 6 o más compartimentos, poseen piso antiderrapante y suspensión de aire. Dependiendo del fabricante, este tipo de remolques tienen diferentes medidas y capacidad, encontrando modelos desde 46 hasta 53 pies de largo (Wilson Trailer, 2020). Estos remolques tienen una variedad de patrones de perforación, según el fabricante, que se utilizan para la ventilación y la mayoría tienen 2 escotillas en el techo que se pueden

abrir para aumentar la ventilación. Las puertas en la parte trasera del remolque son sólidas. La ventilación dentro de estos remolques es pasiva y no están diseñados para abastecer a los animales de agua o comida (Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2012). Cuando los animales tienen más espacio para echarse, pero la forma de conducir o las condiciones del camino son pobres, será más fácil que los animales pierdan el equilibrio (Tarrant *et al.*, 1988). Además, desde el punto de vista económico, la densidad de carga puede incrementar o reducir los costos de operación dependiendo la cantidad de animales a transportar (Miranda-de la Lama *et al.*, 2010). El espacio necesario por animal para ser transportado se expresa comúnmente en m²/animal, aunque teóricamente sería poco fiable al no considerar las variaciones de peso y talla entre individuos. Por otra parte, mediante la ecuación sugerida por Petherick y Phillips (2009) y González *et al.* (2012) $A = 0.02W^{0.6667}$ (donde A = es la disponibilidad de espacio y W = el peso vivo en kg elevado a 0.6667, es decir, el peso metabólico). Esta fórmula se basa en el concepto de que la cantidad de espacio ocupado por un animal es proporcional a su superficie (Miranda de la Lama, 2013).

Vibraciones y micro-clima. Durante el viaje, los animales se encuentran expuestos a vibraciones verticales, laterales y horizontales. Las carreteras, caminos de grava o terracería, en mal estado o pavimentadas pero sinuosas, tienen un mayor gradiente de transmisión de vibraciones hacia los animales y la sensibilidad a estas aumenta después de largos periodos de pie. Los datos de sensores colocados en el ganado, mostraron que las vibraciones son menores cuando el ganado se encuentra parado en posición perpendicular a la dirección del viaje (Gebresenbet *et al.*, 2011). Como consecuencia de la exposición a vibraciones, se ha observado que, incluso en trayectos de no más de 3 horas, pero con altas vibraciones sobre carreteras sin pavimentar, hay un incremento en la relación Neutrófilos/Linfocitos del 52%. Este marcador inflamatorio, sugiere un estado de inmunosupresión, en comparación con los animales transportados sobre carreteras pavimentadas (Miranda-de la Lama *et al.*, 2011). El estrés causado por vibraciones puede ser reducido mediante la instalación de suspensión neumática, que emplea un tipo de compresor de aire que levanta el chasis del vehículo, lo que proporciona mayor comodidad y confort para el conductor, pero también para el ganado (Singh y Marcondes, 1992). Es posible reducir la exposición a vibraciones al utilizar vehículos que reciban mantenimiento constante, operados por conductores entrenados y con una planeación correcta de las rutas.

El micro-clima del camión (temperatura, humedad relativa e índice de temperatura y humedad) es afectado por el macro-clima, densidad de carga, flujo del aire, respiración, transpiración y secreciones de los animales. Lo anterior, tiene un amplio impacto en el bienestar, especialmente en condiciones ambientales adversas. En transportes de larga distancia aumenta la posibilidad de que los animales atraviesen distintas regiones climáticas (Phillips, 2008). De acuerdo con estimaciones teóricas, en un remolque típico con densidad recomendada para bovinos, el calor producido en el interior sería de 13,400 watts, por lo que un sistema de ventilación sería recomendable. Existen dos sistemas de ventilación: la ventilación pasiva (aberturas) y la activa (ventiladores) (Kettlewell *et al.*, 2001). En el caso de los remolques “pot-belly”, la provisión de ventilación es pasiva y se realiza a través de aberturas colocadas a los costados del vehículo. El aire entrante afectará la calidad del aire en el interior al regular la temperatura, la humedad relativa, los niveles de gas y los niveles de otros contaminantes, siempre y cuando sea un flujo constante. El promedio de niveles de amoníaco es variable dependiendo de la densidad de carga, el tipo de vehículo y la duración del viaje (acumulación de heces y orina). En promedio, se han encontrado valores de 3 a 6ppm, pero al detener el vehículo, los niveles pueden elevarse hasta 18ppm (Wikner *et al.*, 2003).

El conductor. Los conductores de camiones para ganado juegan un papel importante para garantizar el bienestar animal durante el transporte; estos tienen una experiencia única debido a que ven a los animales tanto en la carga como en el proceso de descarga. Sin embargo, muy pocos estudios se han centrado en este grupo de profesionales (Dahl-Pedersen, 2022). El proceso de transporte es una actividad de alto riesgo para los conductores, la percepción del riesgo juega un papel importante en la prevención de todo tipo de accidentes, enfermedades ocupacionales y el bienestar de los animales transportados (Nielsen *et al.*, 2011; Pulido *et al.*, 2018). A medida que ha aumentado la cantidad de ganado transportado por vía terrestre, también ha aumentado el número de accidentes que involucra vehículos que transportan ganado, la mayoría de estos accidentes involucrarán remolques y semirremolques (Pederson *et al.*, 2018).

Los accidentes de vehículos grandes están asociados con una serie de factores que incluyen los efectos del conductor, el tipo de vehículo y las condiciones del camino (Joshua y Garber, 1992; Miranda de la Lama *et al.*, 2011). Por otra parte, los factores

de riesgo asociados al conductor incluyen la edad, el consumo de alcohol u otras sustancias químicas, la fatiga, los problemas de salud crónicos, la imprudencia, la distracción y la falta de capacitación y conocimiento de cómo manejar y transportar ganado adecuadamente (Häkkinen y Summala, 2001; Hanowski *et al.*, 2005; Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2008). Una alta proporción de las tareas realizadas por los transportistas de ganado involucran los conceptos básicos de conocimiento sobre la cría de ganado y prácticas ganaderas, por lo que se ha sugerido que las formas más eficientes de realizar mejoras en el manejo de ganado involucran la selección cuidadosa del personal, con base en criterios específicos y estrictos, así como brindar capacitación constante y especializada para reafirmar sus conocimientos. La mayoría de los enfoques de entrenamiento se basan en una combinación de conocimientos científicos y prácticos de la biología animal y su percepción, y algunos implican entrenamiento práctico con animales (Boivin *et al.*, 2003; Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2008). Sin embargo, este tipo de entrenamiento para conductores aún no es obligatorio en muchos países, gran parte de los conductores en México nunca han recibido ningún tipo de entrenamiento formal, ni existe una regulación gubernamental para la capacitación y certificación de los transportistas de ganado. Por otra parte, la actitud de los conductores y su habilidad para controlar el camión afecta la calidad de la conducción y tiene fuertes implicaciones en el bienestar animal (Pulido *et al.*, 2018). La aceleración, frenado, manejo en las curvas y forma de conducir afecta la habilidad de los animales para mantener una postura estable, incrementando la excitabilidad, reactividad y lesiones en los animales (Cockram *et al.*, 2004).

Al ser un problema recurrente en varios países, ya se han realizado estudios sobre los índices de accidentabilidad durante el transporte de animales; los viajes superiores a 8 horas implican una mayor probabilidad de sufrir un accidente en la vía (Pulido *et al.*, 2018). Las principales causas de accidentes en carretera durante el transporte de ganado en España, EUA y México están relacionadas con la fatiga y mala toma de decisiones del conductor, esto como resultado de largas jornadas laborales, mal diseño de las rutas y alteraciones de los ciclos del sueño (Woods y Grandin, 2008; Miranda-de la Lama, Sepulveda *et al.*, 2011; Valadez-Noriega *et al.*, 2018). Para prevenir la acumulación de fatiga se debe asegurar que los conductores obtengan constantemente un sueño adecuado y de buena calidad (Darwent *et al.*, 2012). La cantidad y tipo de accidentes relacionados con el transporte de ganado en

México no está bien documentada y no existen estadísticas específicas para este tipo de carga por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2019). Sin embargo, se ha observado que los conductores en este país, frecuentemente viajan a altas velocidades que influyen en el fracaso para lidiar con el control del camión en las curvas y en otros obstáculos que pueden presentarse en el camino. De manera adicional, en México, dentro de los riesgos laborales de los conductores se debe tomar en cuenta la crisis de seguridad pública, que representa un importante factor de estrés entre los conductores (Pulido *et al.*, 2018). El desconocimiento y falta de interés por parte de la industria ganadera con respecto al proceso de transporte, minimiza la problemática asociada a los conductores y, por lo tanto, no se destina tiempo ni recursos para el desarrollo de protocolos preventivos ni correctivos que puedan ser utilizados para reducir los riesgos asociados al transporte de ganado; lo que resulta en pérdida de vidas humanas y animales (Miranda de Lama *et al.*, 2011; Darwent *et al.*, 2012).

2.3. Adaptación post-arribo y engorda

Durante la llegada de los bovinos al corral de engorda, se debe optimizar la cantidad y calidad de los recursos para reducir el estrés y facilitar su proceso de adaptación. Los animales recién llegados pasan por numerosos factores estresantes que dan como resultado productos alterados del metabolismo energético y proteico, cambios en el apetito y la tasa de crecimiento, posible compromiso de la función digestiva y ruminal, y un sistema inmunológico afectado negativamente (Loerch y Fluharty, 1999).

2.3.1. Arribo y proceso de adaptación

La adaptación es el proceso y el resultado de una interacción entre el personal, el ambiente y el ganado que, permite que este último se habitúe y aclimate a su nuevo entorno. Los objetivos de este proceso son proporcionar rehidratación, nutrición, descanso y mejorar la función inmunológica de los animales recién llegados al confinamiento; no obstante, las actividades a realizar dependerán de la categoría de riesgo de ganado (Noffsinger *et al.*, 2015; Blakebrough-Hall *et al.*, 2020). La categoría de riesgo está influenciada por el origen del ganado, la temperatura, el estado general del animal, método de castración (si se realiza), estado de preñez de las novillas, el

tiempo de tránsito, el momento y método de destete, el historial de vacunación, uso previo de antibióticos y cualquier problema de salud anterior (Noffsinger *et al.*, 2015).

Aquellos animales expuestos al estrés del transporte podrán reaccionar al mismo en un proceso de dos o tres pasos, el cual se conoce como síndrome de adaptación general: a) la respuesta inicial se llama reacción de alarma y se caracteriza por la vocalización y una respuesta adrenal, pituitaria e hipotalámica; b) la segunda respuesta es la resistencia, que se caracteriza por el anabolismo y el aumento de la ingesta de alimento, pero en corral de engorda esto puede no ocurrir sino hasta 2 o 3 semanas después de la llegada; si la resistencia no tiene éxito, los animales entran en la siguiente etapa; c) el agotamiento es la tercera etapa, la capacidad de adaptación es finita y el agotamiento ocurre cuando un animal no es capaz de adaptarse al factor estresante, los animales que llegan a esta etapa, no han tenido éxito durante el proceso de adaptación y mueren (Loerch y Fluharty, 1999; Swanson y Morrow-Tesch, 2001).

2.3.2. Efectos en el peso, condición corporal y contenido ruminal.

La pérdida de peso vivo durante el transporte es acelerada (Knowles *et al.*, 2014), siendo además el efecto más notorio a simple vista. En la mayoría de los países, es probablemente el efecto económico más importante considerando que, los animales siguen siendo comercializados de acuerdo con el peso vivo. No obstante, el tiempo de recuperación transcurrido desde el ingreso, hasta que los animales comienzan a generar ganancias de peso, podría representar pérdidas económicas más importantes que los kilogramos perdidos durante el traslado. Estudios han demostrado que animales que llegan a perder 10% de su peso corporal durante el transporte tienen mayor probabilidad de morir o convertirse en animales no ambulatorios (González *et al.*, 2012b; Deng *et al.*, 2017). Se ha reportado que tan solo con una privación de alimento de 24 horas, los becerros llegan a perder en promedio 10 kilos de peso vivo (Bravo *et al.*, 2018). Por otra parte, Loerch y Fluharty, (1999) reportaron que un periodo de privación de alimento y agua por encima de las 72 horas aunado a 8 horas de transporte, reduce el total de protozoarios ruminales. El volumen ruminal, la materia seca, el peso total del contenido ruminal y el número total de protozoarios disminuyen a medida que aumenta la duración del ayuno. Adicionalmente al ayuno, se ha demostrado que el estrés afecta la capacidad del rumen para digerir la fibra debido a la alteración de la microbiota ruminal; ya que, los

microorganismos benéficos en el rumen, por ejemplo, bacterias celulolíticas como *Firmicutes* disminuyen y, por otra parte, bacterias potencialmente patógenas proliferan (Yoshihara y Ogawa, 2021). A pesar de que se observan cambios importantes tanto en la concentración de hormonas, como en las características de microbiota ruminal después de la exposición del ganado al estrés del transporte, se sabe que la recuperación de los niveles de cortisol y ACTH ocurre mucho antes que la recuperación de la población de bacterias del rumen. Esto explica al menos en parte, porqué el ganado pierde peso después de ser transportado (Deng *et al.*, 2017) y porqué los periodos de recuperación y normalización en el consumo pueden prolongarse.

Dietas de recepción o inicio. Los niveles de ingesta de materia seca en el ganado para cubrir los requisitos suelen oscilar entre el 1.1% y el 1.7% del peso vivo, variando de acuerdo con la formulación de la ración; sin embargo, históricamente las expectativas de ingesta menores al 1% del peso corporal durante varios días después de la llegada al corral de engorda han sido bien aceptadas (Noffsinger *et al.*, 2015). Luego de un transporte de larga distancia, los animales llegan hambrientos y pueden comer rápido y en grandes cantidades a su llegada, sin tener su sistema digestivo preparado para una digestión y absorción adecuada de nutrientes, por lo que muchas veces se presenta una indigestión y una ingesta reducida, dificultando la consecución del consumo deseado. En becerros, se ha observado que no todos comen durante las primeras dos semanas (Devant y Marti, 2020). Para compensar la reducción en el consumo de materia seca que se produce en las primeras 2 semanas después de la llegada, se necesita una mayor densidad de nutrientes en la ración para satisfacer las necesidades nutrimentales de cada animal (Noffsinger *et al.*, 2015), por lo que se recomienda el uso de forrajes de mayor digestibilidad y aporte protéico, aunque la mayoría de las estrategias nutricionales se basan en ingredientes o aditivos como probióticos, prebióticos, metabolitos (butirato como fuente de energía para las células endoteliales), ácidos grasos de cadena corta, aditivos fitogénicos, minerales, vitaminas, péptidos antimicrobianos, entre otros (Du y Galyean, 2007; Devant y Marti, 2020).

Durante los primeros días, los niveles totales de ingesta en un corral permitirán determinar la cantidad de materia seca que debe suministrarse a cada grupo, aunque el consumo individual permitirá detectar a aquellos animales que no estén

consumiendo una cantidad de materia seca adecuada, lo que permitirá detectar la presencia de enfermedades o lesiones en etapas tempranas (Tomczak *et al.*, 2019). Las dietas de inicio deben formularse para proporcionar niveles adecuados de proteínas, energía, minerales traza (cobre, zinc, selenio, yodo, cobalto, manganeso, molibdeno y hierro) y vitaminas de productos que sean adecuados para el sistema digestivo del rumiante (Noffsinger *et al.*, 2015). Después de un viaje de larga distancia, se observó una disminución en el pH del rumen de 7.3 a 6.7, el cual se restableció 7 días luego del transporte, por ello, el forraje se debe ajustar adecuadamente, mientras que el porcentaje de alimentos concentrados debe ajustarse siendo elevado poco a poco, de modo que el estrés del rumen pueda reducirse (Deng *et al.*, 2017) y evitar la acidosis metabólica (Wilms *et al.*, 2020).

Deshidratación. Durante el proceso de adaptación, la hidratación es una prioridad para los recién llegados debido a que dependen del agua para llevar a cabo sus funciones metabólicas básicas, los animales deshidratados también se muestran reacios a alimentarse. Preston (2007) concluyó que proporcionar agua al ganado poco después de la llegada aumenta la ingesta de alimento a niveles apropiados más rápidamente que proporcionar solo el alimento, por lo que es indispensable el acceso a agua limpia y fresca. En la práctica actual, el suministro de soluciones de electrolitos antes del transporte, es un enfoque común para contrarrestar los efectos negativos esperados del transporte sobre el metabolismo de electrolitos, la acidosis metabólica y la diarrea viral en el ganado (Tomczak *et al.*, 2018; Marcato *et al.*, 2020). La utilización de bebederos de flujo continuo, provistos de un flotador, largos y poco profundos aseguran la provisión de agua a todos los animales y evita su estancamiento. El desafío principal para un animal transportado o privado de alimento y agua es una acidosis metabólica leve, inducida por proteínas plasmáticas elevadas, que puede ser el resultado de pérdida de agua corporal (Parker *et al.*, 2003). La deshidratación está directamente relacionada con la enfermedad debido a la alteración de la función del aparato mucociliar del epitelio respiratorio (Ackermann *et al.*, 2010). La temperatura ambiente en el entorno de transporte es una causa potencial de deshidratación. Cuando la temperatura está fuera de los límites críticos normales del animal, aumenta el gasto de energía para mantener la temperatura corporal (Van Engen y Coetzee, 2018).

La deshidratación puede aparecer en animales transportados por largas distancias, sobre todo en climas cálidos-secos o muy fríos, cuando el flujo del aire a través del camión es alto. La provisión de pequeñas cantidades de nutrientes y/o de electrolitos con una tonicidad correcta inmediatamente después del transporte reduce la deshidratación del tejido y el catabolismo de las proteínas musculares, el glucógeno y los lípidos, además de reducir los desequilibrios ácido-base y electrolíticos (Schaefer *et al.*, 2001).

2.3.3. Efectos en la salud (morbilidad y mortalidad)

Durante el arribo al confinamiento, se ha encontrado que el peso, el sexo, el mes de llegada, el clima y la mezcla de los bovinos de diferentes lotes, están asociados con el riesgo de mortalidad; sin embargo, todavía es difícil predecir qué grupos específicos corren mayor riesgo de enfermarse o tener un curso de enfermedad más grave e incluso es difícil predecir cuáles individuos tendrán mejor respuesta o no a los tratamientos (Fulton, 2009; Hay *et al.*, 2017; Wisnieski *et al.*, 2021). Los animales con menor peso a la llegada tienen mayor probabilidad de mortalidad y riesgo de ser desechados, a medida que aumenta el peso a la llegada, este riesgo disminuye y no se observan diferencias entre hembras o machos (Babcock *et al.*, 2013). Existen numerosos agentes infecciosos que afectan la salud de los bovinos, tales como el herpesvirus bovino 1 (BoHV-1), el virus de la diarrea viral bovina (BVDV), el virus sincitial respiratorio bovino (BRSV), *Mycoplasma bovis*, *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida*, *Histophilus somni* (Fulton, 2009; Hay *et al.*, 2017) y otros agentes digestivos que afectan principalmente a becerros, tales como *E. coli*, *Proteus*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* y *Klebsiella* (Kondakova, 2020).

El riesgo que tienen los animales de enfermar o morir debido a la variabilidad de condiciones climáticas y exposición a estos agentes puede experimentarse durante el transporte con efectos incluso de varias semanas después de haber llegado al lugar de destino. La mortalidad durante el transporte de ganado bovino es el reflejo de un problema grave de bienestar, incluyendo no solo animales muertos a la llegada (Death on arrival - DOA) sino también todos aquellos animales que aparentemente no presentan lesiones y que mueren posteriormente (Non ambulatory, non injured – NANI) (Sutherland *et al.*, 2008). En condiciones comerciales de transporte se demostró que la probabilidad de tener animales no ambulatorios aumentó cuando las

temperaturas subieron por encima de 30°C, mientras que la mortalidad puede incrementarse cuando la temperatura ambiente cae por debajo de -15°C; pero dicha mortalidad también puede incrementarse debido a viajes de larga distancia (sobre todo >30 horas), con el transporte de animales muy jóvenes y cuando hay una menor disponibilidad de espacio por animal (González *et al.*, 2012b; Babcock *et al.*, 2013).

Complejo Respiratorio Bovino (CRB). El complejo respiratorio bovino (CRB) o fiebre de embarque, es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad, representando del 70% al 80% de toda la morbilidad y del 40% al 50% de toda la mortalidad en el ganado de engorda. Con costos estimados recientemente para la industria estadounidense de alrededor de 800 a 900 millones de dólares anuales (Blakebrough-Hall *et al.*, 2020). El CRB suele estar causado por agentes virales como el Virus Respiratorio Sincitial Bovino (VRSB), Parainfluenza-3 (PI3), Adenovirus, Virus de la Diarrea Viral Bovina (DVB) y Rinotraqueitis Infecciosa Bovina (IBR) y las bacterias patógenas asociadas incluyen *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida*, *Histophilus somni* y *Mycoplasma bovis* (Griffin *et al.*, 2010). Estas bacterias pueden residir en el tracto respiratorio superior (TRS) del ganado sano como organismos comensales, sin embargo, en condiciones específicas y en asociación con infecciones virales, interfieren con el equilibrio mucociliar del tracto respiratorio y desregulan los péptidos antimicrobianos traqueales de la defensa innata, lo que permite que los patógenos virales y bacterianos se repliquen dentro del TRS y accedan a los pulmones a través de la inhalación (Caswell, 2014; Early *et al.*, 2017). Por lo anterior, una mayor densidad de bacterias aunada al aumento temporal de los niveles de cortisol en plasma causado por el estrés del transporte puede asociarse con un mayor riesgo de presentar el CRB (McEwen *et al.*, 1997; Griffin *et al.*, 2010).

El ganado de todas las edades puede verse afectado por CRB, no obstante, es más probable que se vea afectado durante los días posteriores de ingreso al confinamiento debido a su exposición a una amplia gama de patógenos, que provienen de la mezcla de animales de diferentes orígenes (Taylor *et al.*, 2010). Para disminuir la posibilidad de brotes dentro del corral de engorda, es importante asegurar corrales para recibir lotes completos, evitando la necesidad de mezclar animales ya residentes. Los métodos de manejo todo dentro - todo fuera, minimizan la contaminación cruzada de patógenos entre grupos a lo largo del tiempo. De igual

manera, se debe evitar utilizar los corrales de recepción como corrales temporales para el resguardo o manejo de animales que lleven mayor tiempo en las unidades de engorda. Las instalaciones de recepción deben estar sombreadas y bien ventiladas, y deben mantenerse limpias, secas y libres de polvo (Groves, 2020). Se ha confirmado un mayor riesgo de enfermedades respiratorias en diferentes engordas cuando ingresaron animales menores a los 180 kg, sin manejo preventivo, y acopiados en lugares con poca atención sanitaria (Ramírez *et al.*, 2012). Adicionalmente, la compra de ganado en mercados o ferias ganaderas aumenta el estrés y coloca al ganado en una categoría de mayor riesgo. En un estudio realizado en los corrales de engorda, se encontró que la mezcla de ganado realizada con menos de 12 días antes de ingresar a corral de engorda aumentaba el riesgo de CRB. Sin embargo, realizar la mezcla de los animales 27 o más días antes de ingresar al corral, disminuyó el riesgo de la aparición del CRB (Hay *et al.*, 2014).

En un intento por reducir la morbilidad y la mortalidad por CRB, los animales a menudo se vacunan a su llegada contra los patógenos causantes de esta enfermedad (Griffin *et al.*, 2018). Se encuentran disponibles múltiples productos bacterianos y toxoides para combatir *Manheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida* e *Histophilus somni*. Los antígenos bacterianos se ofrecen en combinación con otros antígenos y como productos independientes. Además, existen productos para otros patógenos que se sabe que están involucrados con el complejo BRD (Groves, 2020). La vacunación contra los patógenos virales y bacterianos aplicada al llegar, afectó adversamente la salud y el crecimiento del ganado, ya que su aplicación puede ser menos efectiva si se administra durante un período de inmunosupresión inducida por estrés como ocurre en caso de los animales recién llegados (Groves, 2020). La aplicación de vacunas también se asoció con un peso final más bajo y el aumento de la mortalidad por CRB; estos hallazgos apoyan el concepto de que la vacunación de animales, sobre todo becerros, que pueden haber estado expuestos recientemente a varios factores de estrés y que potencialmente están incubando CRB, puede aumentar su riesgo de enfermedad (Griffin *et al.*, 2018). Algunos productores ya se han beneficiado al tomar la decisión de retrasar el protocolo de vacunación hasta 30 días después de la llegada, lo que permite una mejor recuperación (Groves, 2020).

Virus de Diarrea Viral Bovina (DVB). El virus de la DVB pertenece al género Pestivirus dentro de la familia *Flaviviridae* y se han propuesto cuatro síndromes principales: a) infección persistente (IP); b) infección aguda; c) infección intrauterina y d) enfermedad de las mucosas (Liebler-Tenorio, 2005; Ramírez *et al.*, 2012). La DVB tiene un profundo impacto económico en la industria ganadera. Los becerros infectados en el útero y nacidos persistentemente infectados (IP) tienen una mayor morbilidad, mortalidad y una productividad reducida. Además, sirven como una fuente continua de exposición viral para los animales con los que convive y, por lo tanto, representan un riesgo significativo para el bienestar de los animales y la eficiencia de la producción (Nilson *et al.*, 2020). En México, la presentación de estas enfermedades dentro del corral de engorda se puede relacionar con el acopio de animales de alto riesgo en diferentes orígenes, su posterior mezcla en centros de acopio o transportes, poca atención sanitaria, importación ilegal de ganado entre países fronterizos (Ponce, 2006; Gallo y Tadich, 2008) y su posterior transporte por largas distancias. La DVB puede ocurrir de manera subclínica, pero favoreciendo la presentación de otros cuadros patológicos como el de la neumonía (Ramírez *et al.*, 2012). En comparación con lo observado hace 20 años en EUA y Canadá, los cuadros de neumonías en bovinos en confinamiento ocurren con un curso más largo, esta situación se vio relacionada con infecciones por DVB y *Mycoplasma bovis* (Fulton, 2009). Comprender los mecanismos a través de los cuales se establece y mantiene la IP es importante para trabajar hacia la búsqueda de medios para prevenir o mitigar las pérdidas debidas a infecciones (Nilson *et al.*, 2020).

Estrés oxidativo, fatiga. El oxígeno es una molécula imprescindible para la vida, sin embargo, por su alta reactividad es un elemento que puede tornarse tóxico al existir una perturbación del equilibrio entre las oxidantes y antioxidantes a favor de las primeras, genera una situación conocida como estrés oxidativo. Lo anterior resulta de la formación de sustancias químicas conocidas como radicales libres (RL), entre las que destacan el anión superóxido (O_2^-), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el radical hidroxilo (OH^-), el oxígeno singlete ($1O_2^-$) y el ácido hipocloroso (HOCL), las cuales causan daños a nivel celular (Pupo *et al.*, 2017). Un período prolongado de privación de agua y la utilización de las reservas de energía que se producen durante el transporte de larga distancia, en última instancia da como resultado la deshidratación y un cambio a un estado gluconeogénico elevado (Parker *et al.*, 2007). El estado de

privación energética generado produce un aumento del estrés oxidativo (Mráček *et al.*, 2006). La generación de estos oxidantes es una de las consecuencias más evidentes de la inflamación, causada por lesiones, estrés o fatiga (Mracek *et al.*, 2006; Alrafo *et al.*, 2020). La fatiga durante el transporte también provoca un aumento de la actividad sanguínea de diferentes enzimas musculares, como la creatina fosfoquinasa (CPK) y lactato deshidrogenasa (LDH). Durante el transporte, el ganado debe estar de pie por periodos prolongados, por lo que los músculos están constantemente en tensión y uno de los efectos negativos es la fatiga muscular, que puede definirse como una incapacidad para continuar una tarea motora con la intensidad requerida, lo que eventualmente conduce al agotamiento (Alfaro *et al.*, 2020). La actividad de la CPK plasmática y del lactato (metabolito sintetizado por la LDH), se han utilizado como indicadores fisiológicos de estrés y/o daño muscular en producción animal (Losada-Espinosa *et al.*, 2018). El incremento de CPK se da por un aumento en la permeabilidad de las membranas musculares, como resultado del acopio o captura, manejo, carga y transporte con su posterior liberación al torrente sanguíneo. Por otra parte, la contracción muscular sostenida y los estados de estrés aumentan la adrenalina circulante, favoreciendo la glucogenólisis en músculo con una alta demanda de oxígeno. Cuando esta demanda no puede abastecerse, ocurre una glicólisis anaerobia lo que genera como producto final al lactato. Al producirse en grandes cantidades provoca una lactoacidemia, que es un indicador de estrés resultado de la producción rápida de energía por un metabolismo anaerobio y se observa durante el transporte y en procesos previos a la matanza (Mota-Rojas *et al.*, 2012; Losada-Espinosa *et al.*, 2018).

2.3.4. Efecto del comportamiento, mezcla social y densidad en corral

El estrés social por mezcla de animales y su confinamiento en espacios con recursos reducidos, no han sido considerados como factores críticos durante el periodo de adaptación de los animales al corral de engorda (González *et al.*, 2018). Los bovinos son animales sociales, característica que fue el resultado de la selección natural en sus ancestros por traer mayor protección del grupo. Los bovinos criados en sistemas extensivos tienden a formar grupos de vacas y becerros, mientras que los toros se juntan en pequeños grupos alejados de las hembras. Bajo sistemas de producción intensiva, el comportamiento social del ganado difiere sustancialmente del de su hábitat natural; el confinamiento en grupo permite la elección de nuevos

compañeros y la expresión del comportamiento social. No obstante, siempre se produce estrés social durante la mezcla de animales y el establecimiento de una nueva jerarquía, así como por la ruptura de vínculos sociales conocidos (Galindo *et al.*, 2011; Gutmann *et al.*, 2015). En este contexto, el costo biológico de las condiciones intensivas en los individuos puede ser alto, particularmente al mantener la competencia social por recursos y el incremento de la agresividad cuando estos son limitados (Estévez *et al.*, 2007). Aquellos individuos subordinados o pasivos no pueden escoger el lugar ni el tiempo donde acicalarse, alimentarse o echarse y además pueden sufrir de estrés metabólico por hambre prolongada, heridas, cojeras, etc. (Galindo y Broom, 2000; Mandella-Oliveira *et al.*, 2012). Este proceso es una consideración importante para el manejo de recepción y un diseño inadecuado de las instalaciones, o cantidad de recursos inadecuada para el total del hato puede afectar negativamente la adaptación del ganado estresado y dar lugar a comportamientos agonistas, tal es el caso de los lugares proporcionados en comedero (Kondo *et al.*, 1984; González *et al.*, 2008; Salvin *et al.*, 2020). Por lo tanto, comprender las interacciones sociales entre el ganado es importante dentro de los sistemas de confinamiento. Las interacciones sociales anormales como el síndrome de *Buller* (montaje repetido de un novillo por otros novillos) son un riesgo que va más allá del asociado con el establecimiento normal de la jerarquía y puede conducir a un rendimiento deficiente y un aumento del riesgo de lesiones y muerte (Salvin *et al.*, 2020). Los comportamientos agonistas a menudo se reducen a medida que el ganado se familiariza con el grupo y sus alrededores, por lo que los riesgos de bienestar asociados con interacciones sociales se concentran predominantemente al comienzo del periodo de engorda o siempre que se introducen animales nuevos dentro de otros grupos, por ejemplo, la introducción de animales dentro de las enfermerías o corrales de tratamiento (Salvin *et al.*, 2020).

2.3.5. Efecto del personal en el proceso de adaptación

El papel del personal durante el proceso de adaptación es decisivo. Se ha propuesto que la experiencia previa de un animal puede afectar la respuesta de miedo, por lo que es importante destacar que, animales con temperamento agresivo o que tuvieron poco contacto con el humano, estarán poco habituados a la presencia de la gente y tendrán mayores posibilidades de estresarse, lesionarse o de lesionar al personal, debido a la respuesta excesiva o a la agresión inducida por el miedo;

además, el ganado nuevo tiende a presentar una zona de fuga mayor (Fisher *et al.*, 2009). Otros estudios han demostrado que el ganado más dócil pierde menos peso durante el transporte y tiende a una adaptación y recuperación más rápida al continuar con su ciclo productivo (Colditz *et al.*, 2006). Uno de los principales efectos negativos de los animales estresados y poco habituados a la gente es que ocultan signos sutiles de lesión y enfermedad puesto que, al ser una especie depredable, no desea ser identificado como vulnerable. Por ello, los bovinos harán lo posible por imitar al resto del grupo y evitar demostrar comportamientos típicos de un animal fatigado, enfermo o herido. El personal será visto como una nueva amenaza hasta que el ganado comienza a habituarse a su presencia y lo relacione con eventos positivos como la alimentación, hasta que finalmente comienza a confiar en él y su presencia no altere su comportamiento (Noffsinger *et al.*, 2015).

Durante el manejo, las actitudes del personal hacia los animales están directamente asociadas con su comportamiento, las prácticas agresivas pueden aumentar el miedo (Hemsworth y Coleman, 2011; Ceballos *et al.*, 2018). Por otro lado, cuando los animales experimentan interacciones positivas con humanos, se vuelven menos temerosos, lo que, a su vez, facilita el manejo (Schmied *et al.*, 2010; Probst *et al.*, 2012). El proceso de adaptación bajo una experiencia positiva, hace que sea más fácil y seguro segregar o sacar a un individuo del corral, ya que están más dispuestos a dejar la compañía de su grupo (Noffsinger *et al.*, 2015). Claramente, el conocimiento, las actitudes, las habilidades, la capacitación y la familiaridad de la persona con los animales son importantes, pero también lo son los temas más amplios, como la motivación y satisfacción en el trabajo, las condiciones de trabajo, las acciones de los compañeros de trabajo y las políticas y normas de la organización (Mellor, 2016). Se ha sugerido que la industrialización de la producción ganadera y el establecimiento de técnicas de gestión al estilo de las fábricas, están rompiendo la relación tradicional entre los ganaderos y sus animales. Dentro de estos nuevos "sistemas industrializados", el trato directo con la gente se vuelve cada vez más difícil, pero al mismo tiempo, cada vez más importante (Beach y Stammler 2006; Burton *et al.*, 2012; Kauppinen *et al.*, 2013; Werkheiser, 2018; Losada-Espinosa *et al.*, 2020) y resulta indispensable la participación de la gerencia en la continuidad de los programas de capacitación e incentivos para el personal.

2.3.6. Efectos del clima, termorregulación y uso de sombras

La zona tropical, en donde se establece gran parte de la producción agrícola y ganadera del mundo, representa un entorno térmico desafiante para los animales (Domiciano *et al.*, 2016). La producción ganadera basada en pastos se centra principalmente en sistemas de monocultivo (sin árboles), que propicia la degradación de los suelos y una alta incidencia de radiación solar sobre los animales, esto puede resultar en estrés térmico que, a su vez, deriva en cambios fisiológicos y de comportamiento (Schütz *et al.*, 2010; Giro *et al.*, 2019). Esta problemática no es exclusiva de los sistemas de pastoreo, sino que puede observarse de forma repetitiva en los corrales de engorda intensiva. El creciente interés en el manejo del estrés calórico en los sistemas de producción bovina, se ha generado por diversos factores, incluido, pero no limitado a un aumento en el número de eventos climáticos extremos y la variabilidad climática, el aumento de ganado producido en sistemas intensivos, un incremento de la demanda de eficiencia/crecimiento en sistemas intensivos, el cambio demográfico del ganado y la creciente preocupación de la sociedad con respecto al bienestar de los animales (Edwards-Callaway *et al.*, 2021). Datos recientes sugieren que los cambios en el clima afectarán significativamente los sistemas ganaderos debido a los efectos directos de las altas temperaturas y la radiación solar en los animales (Nardone *et al.*, 2010). Se estima que el cambio climático aumentará hasta un 35% los costos financieros de los cultivos y la ganadería (St-Pierre *et al.*, 2003; Thamo *et al.*, 2017; Brown-Brandl, 2018).

El estrés térmico da como resultado pérdidas anuales de miles de millones de dólares para la industria ganadera, estas pérdidas se originan a partir de tres factores principales: rendimiento reducido, aumento de la mortalidad y disminución de la reproducción. El estrés térmico es el resultado de un desequilibrio entre el calor producido y la cantidad de calor que se pierde o se gana del medio ambiente. El impacto del estrés térmico varía desde un efecto mínimo o nulo, hasta la muerte de animales vulnerables; situación a la que se le ha prestado poca atención tanto en sistemas de cría de ganado en pastos como en corral de engorda. Los efectos en los animales que experimentan estrés por calor incluyen disminución en la ingesta de alimento, el crecimiento del animal y la eficiencia de la producción (Brown-Brandl, 2018). Durante eventos extremos, las pérdidas de animales pueden exceder el 5% de todo el ganado alimentado en un solo corral de engorda, aunque estos eventos

extremos son generalmente bien localizados y las olas de calor tienen una duración de un día o dos (Brown-Brandl, 2018).

Termorregulación. Dentro de la zona termoneutral, un bovino tiene una experiencia óptima de confort en relación con la temperatura ambiente. La zona termoneutral es el rango de temperatura ambiente dentro de la cual un organismo homeotermo puede regular su temperatura sin elevar su tasa metabólica. Dentro de esta zona, el animal invierte solo un mínimo de energía en mantener su temperatura corporal (Silanikove, 2000). Los bovinos son animales homeotermos, lo que significa que mantienen su temperatura corporal interna relativamente estable, independientemente de las fluctuaciones climáticas, debido a ajustes fisiológicos, conductuales y metabólicos. El estrés calórico resulta del desequilibrio en la homeostasis del animal y tiene componentes tanto fisiológicos como termodinámicos. La siguiente ecuación describe de manera general el mecanismo de homeostasis de un animal (Watts y McLean, 1977; Brown-Brandl, 2018), en la cual HP es la producción de calor, HL es la pérdida de calor, ΔT_{body} es el cambio en la temperatura del cuerpo ($^{\circ}\text{K}$), c_p es el calor específico de todo el animal ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) y m es la masa del animal (kg): **$HP - HL = \Delta T_{\text{body}} \times c_p \times m$** . La producción total de calor restada del total de pérdida total de calor, es igual a la energía acumulada del cuerpo, lo que se manifiesta como un cambio en la temperatura corporal (incrementando durante el estrés calórico y descendiendo en el estrés por frío (Brown-Brandl, 2018). Pero la energía gastada para mantener el equilibrio térmico de los organismos homeotermos fuera de la zona termoneutral, puede provocar importantes pérdidas de productividad (Giro *et al.*, 2019). Cuando la temperatura y/o humedad se encuentran fuera de esta zona, el animal debe ajustar su metabolismo para adaptarse al ambiente, pero si las condiciones sobrepasan los límites de la especie, los mecanismos de regulación fallan en su intento por mantener la temperatura y eventualmente puede provocar la muerte (Silanikove, 2000).

El ganado bovino mantiene su temperatura corporal dentro de los límites de 37.8°C a 39.2°C (Ludtke *et al.*, 2012). La presión de la termorregulación se convierte en un problema de bienestar cuando un organismo no puede regular su temperatura corporal mediante mecanismos fisiológicos (Blache *et al.*, 2011). El estrés por frío resulta en una apropiada estimulación del sistema para producir calor mediante el

incremento de la tasa metabólica, desde luego, la capacidad de adaptación de un animal durante estrés por frío dependerá de otros factores tales como su estado de salud y sus reservas de energía, por otra parte, el estrés calórico es de mayor preocupación, ya que el margen entre la temperatura normal e hipertermia letal es menor que el margen para una hipotermia letal (Silanikove, 2000). El ganado *Bos taurus* es particularmente susceptible a las condiciones climáticas cálidas (Mader, 2003) y más resistente a condiciones climáticas frías; algunas razas lecheras especializadas son sensibles a temperaturas una vez fuera del rango de entre -5 a los 25°C. Sin embargo, bajo la lluvia o la nieve, los efectos del estrés por frío se intensifican debido al mayor aumento de la pérdida de calor como consecuencia de la evaporación (Schutz *et al.*, 2010). La genética de la adaptación al frío en el ganado se ha estudiado recientemente, tanto a nivel del genoma como del transcriptoma. Usando datos de genoma completo, se reveló al gen *GRIA4* como un candidato prometedor asociado con el mantenimiento de la temperatura corporal a temperaturas extremadamente bajas en poblaciones de ganado en Siberia (Igoshin *et al.*, 2019; Igoshin *et al.*, 2021). Por otra parte, el ganado *Bos indicus* también tiene adaptaciones genéticas que apoyan la termotolerancia y, en consecuencia, son menos susceptibles a los efectos negativos de los eventos climáticos cálidos (Hansen, 2004). En los casos de estrés crónico, puede ocurrir catabolismo proteico, hiperglucemia, atrofia del tejido linfoide, reducción del número de linfocitos y anticuerpos, ocasionando fallas en el sistema inmunológico, inhibición del crecimiento, reducción en la producción y consecuentemente fallas en la reproducción (Macitelli, 2015). Sin embargo, se han realizado estudios limitados que destacan la importancia de proporcionar sombra al ganado índico (Lees *et al.*, 2019).

En México, la ganadería se desarrolla en una gran variedad de regiones climáticas (Peel, 2011); por su posición geográfica en la parte sur del hemisferio norte, entre dos océanos, el país se ve afectado de manera particular por los impactos del cambio climático (CMNUCC, 2018). Los escenarios de cambio climático que se estiman para el periodo 2015 a 2039, proyectan temperaturas anuales con aumento de más de 2°C en el norte del país, mientras que en la mayoría del territorio podrían oscilar entre 1 y 1.5°C. En el caso de la precipitación, se proyecta, en general, una disminución de entre el 10 y el 20% (CMNUCC, 2018). Debido a los escenarios anteriores, desde hace tiempo, ganaderos, público en general y científicos han sido

conscientes de los efectos de la exposición al frío y el calor en el bienestar, comportamiento del ganado, la fisiología y productividad (Kadzere *et al.*, 2002; Van *et al.*, 2014), así como de la importancia de proveer algún tipo de refugio natural o artificial para mitigar los efectos de la variación climática sobre los animales. En México, aún existen pocas investigaciones que evalúen el impacto de las condiciones climáticas sobre los sistemas de producción de animales domésticos; en la producción de ganado de engorda, el bovino se considera altamente resistente y pocas veces se le brinda refugio que lo proteja de condiciones climáticas adversas.

Uso de sombras. La tentativa de un organismo de adaptarse a ambientes desafiantes provoca un estado de estrés en el animal, y en este escenario la sombra es un mecanismo para reducir la carga de calor. Aunque el estrés por calor se ha revisado, investigado y abordado ampliamente en los sistemas de producción láctea, no se ha investigado de la misma manera en la cadena de suministro del ganado de carne. Como todos los animales, el ganado es susceptible al estrés por calor si no puede disipar el calor durante épocas de temperaturas ambientales elevadas. Hay muchos factores que afectan la susceptibilidad al estrés por calor en el ganado de carne en los diferentes sectores de la cadena de suministro, muchos de los cuales se relacionan con el sistema de producción, es decir, la disponibilidad y tipo de sombra, el microclima del medio ambiente y el manejo de la nutrición (Edwards-Callaway *et al.*, 2021). Existen varios programas de certificación y verificación dirigidos por terceros como American Humane, NSF Global Animal Wellness Standard, o Certified Humane que, actualmente son utilizados en América del Norte y que han incluido el acceso a la sombra dentro de sus estándares de cuidado del ganado, los cuales pueden variar en especificidad (American Humane, 2017; NSF International, 2019; HFAC, 2020). Estos programas de verificación hacen referencia al acceso a “refugio” que proteja al ganado de climas extremos, lo que incluye el acceso a la sombra; pero su “necesidad” o importancia de uso es específico para ciertos climas, sistemas o temporadas del año. Otros estándares tienen especificaciones más concretas para los requerimientos en la inclusión de sombra en los sistemas de ganado (Animal Welfare Approved, 2018; Food Alliance, 2018; VBP+, 2019; HFAC, 2020). Global American Partnership (2009) indica en sus estándares para ganado de carne que, siempre debe proveerse sombra a animales que tengan acceso al exterior y que el material para sombra debe filtrar al menos el 50% de la radiación solar. Para el caso de Estados Unidos, la sombra debe

tener una altura de entre 2.1 y 4.3m, dependiendo la región y se estipula un espacio específico de sombra por animal (ganado joven: 0.7 a 1.2m²/animal; ganado adulto: 1.9 a 2.5m²/animal). Aunque muchas de estas recomendaciones no están directamente citadas, representan información valiosa que ha sido utilizada en guías y documentos para animales de experimentación y enseñanza y que, si son evaluadas en cuanto al costo – beneficio, pueden ser utilizadas en sistemas de producción comerciales (FASS, 2010).

Por su parte, los resultados de los estudios que evalúan los efectos de la sombra en la producción y el bienestar del ganado, son de difícil comparación debido a la variación en el diseño estructural, los materiales de construcción utilizados, la altura, la forma y el área de sombra proporcionada. Además, dependiendo de la ubicación del sistema, la sombra puede ser beneficiosa o no durante todas las épocas del año, lo que puede influir en la decisión de convertir la sombra en una parte permanente de los sistemas de gestión (Edwards-Callaway *et al.*, 2021), o justificar la ausencia de sombra por resultados obtenidos sólo durante ciertas épocas del año. Por ello, no es posible dar recomendaciones generales. En varios estudios se ha comprobado la efectividad del uso de sombras para el ganado de engorda. Por ejemplo, Mitlöhner *et al.* (2002) encontraron que, el consumo de materia seca (CMS) fue 2.9% más para el tratamiento con sombra; por su parte, Rovira (2013) indicó que el tipo de sombra afecta significativamente la temperatura de la superficie del suelo, encontrando un promedio de 34.9 ± 9.2°C para el tratamiento control, 31.7 ± 6.1°C para la sombra con material que bloquea 35% de luz solar y 27.2 ± 3.7°C para la sombra con bloqueo solar de 80%.

Otros estudios han demostrado que el ganado con sombra exhibe tasas de respiración, temperaturas corporales y puntajes de jadeo más bajos en comparación con el ganado sin sombra en un clima que aumenta el riesgo de estrés por calor. Los resultados de los estudios que investigan la provisión de sombra indican que el ganado busca sombra en climas cálidos (Van *et al.*, 2014; Lees *et al.*, 2019; Edwards-Callaway *et al.*, 2021). Con algunos de los ejemplos mencionados, se puede demostrar que, tradicionalmente todos los estudios de sombra se han centrado en resultados relacionados con cambios fisiológicos y de desempeño. No obstante, se debe considerar que el bienestar animal es multifacético y que incluye muchos otros

componentes importantes además de la salud y desempeño, que deben ser considerados en el diseño experimental (Valadez-Noriega *et al.*, 2020) y al determinar la necesidad de proveer sombra y sus especificaciones.

A pesar de los beneficios documentados de la sombra, se tienen bajas tasas de implementación de sombra en los corrales de engorda en México y no existen datos en otros sectores de la cadena de suministro. En muchas partes en donde siguen creciendo los sistemas de engorda intensivos como México y recientemente Brasil, la sombra no es considerada como un recurso “rentable” en lotes comerciales, ya que muchas veces se desconoce el tiempo de retorno de esta inversión. Es necesario realizar un análisis completo sobre los costos, beneficios y la tasa de retorno de esta inversión. Las estadísticas actuales de la industria, las pautas de la industria y los programas de certificación en unidades de producción animal, articulan la necesidad crítica de protección contra el clima extremo, pero no son consistentes en brindar recomendaciones y requisitos específicos. Los esfuerzos futuros deben incluir investigación para mejorar la evaluación holística del bienestar del ganado (Edwards-Callaway *et al.*, 2021).

3. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

Las actividades asociadas al transporte de larga distancia de ganado bovino en México, incluida la distancia, el diseño y posición en el vehículo, la manipulación por parte del personal y las condiciones brindadas al arribo de los animales, tienen efectos directos e indirectos en el bienestar, comportamiento, salud y productividad de los bovinos productores de carne. Las actitudes y percepciones de los conductores de vehículos para ganado hacia el bienestar animal, están relacionadas con la manera en la que tratan, transportan y manejan al ganado.

Objetivos

Con base en la hipótesis del trabajo, fueron planteados los siguientes objetivos:

- Describir las actitudes y percepciones de los conductores de transporte de ganado bovino sobre el bienestar bovino.
- Detectar factores de riesgo para el bienestar de los animales y de los conductores asociados con las prácticas logísticas actuales.
- Documentar las principales características del transporte de larga distancia en México de acuerdo con el conocimiento de los conductores.
- Evaluar las consecuencias del transporte de larga distancia y del compartimento del remolque, en el comportamiento y la salud de novillos en los primeros 60 días después de su llegada al corral de engorda.
- Determinar los efectos de dos diferentes sistemas de alojamiento (uno con techo tipo invernadero y otro sin techo) en el confort térmico, comportamiento, salud y desempeño de los bovinos productores de carne en sistemas de engorda intensiva en México.

4. ARTÍCULOS

4.1. Artículo 1

Publicación:

Preventive Veterinary Medicine

Elsevier

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.09.023>

Preventive Veterinary Medicine 160 (2018) 76–84



Contents lists available at ScienceDirect

Preventive Veterinary Medicine

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



Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey[☆]

M. Valadez-Noriega^a, L.X. Estévez-Moreno^b, A.A. Rayas-Amor^c, M.S. Rubio-Lozano^a, F. Galindo^a, G.C. Miranda-de la Lama^{a,d,*}

^a Faculty of Veterinary Medicine, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico City, Mexico

^b Institute of Agricultural and Rural Science (ICAR), Autonomous University of Mexico State (UAEM), State of México, Toluca, Mexico

^c Department of Food Science, Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), Lerma de Villada, State of México, Mexico

^d Aragón Research Agency for Research and Development (ARAIS), Agrifood Institute of Aragón (IAG), Department of Animal Production and Food Science, Faculty of Veterinary, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain

ARTICLE INFO

The authors dedicate this article in the loving memory of DVM Jesús Willisdo Miranda Zambrano, who passed away on November 05th 2017.

Keywords:

One-health
Hauliers
Cattle transport
Animal welfare
Attitudes

ABSTRACT

Mexico is the 7th largest producer of beef in the world. The livestock transport is a vital component of today's world agrifood economy that directly impacts on the development of animal production, animal welfare, public policies, labor regulations, food safety, markets and consumers. In this study two aims were established; the first aim was to identify the attitudes and perceptions of commercial hauliers towards animal welfare and their influence on the accident risks. The second aim was to characterize the current practices of the commercial cattle transport in Mexico and to detect the risk factors for animal welfare and hauliers' wellbeing. The interviews were conducted individually at the hauliers' rest points, sanitary inspection points localized along the Federal Highway 57 or at the companies' offices of cattle transportation. We used univariate, bivariate and multivariate statistics based on a hierarchical cluster analysis. The results showed that cattle transport in Mexico is characterized for long travel distances because the cattle departed from farms in the southern states of Mexico to the feedlots located in central and northern regions of the country. The journeys of short and middle distances departed from the feedlots to the slaughterhouses. The hauliers' characteristics were age from 29 to 48 years-old, elementary or secondary studies completed, 65% of hauliers mentioned six years of experience in cattle transport, they learned about cattle transportation by means of a family member who was already engaged in this activity. The cluster analysis identified four hauliers' groups: groups 1 and 3 were related to animal welfare and groups 2 and 4 less related to animal welfare. This study showed that empathy towards cattle was a key element in identifying hauliers at risk of road accidents during cattle transportation. Years of experience in cattle transport played an important role in emphasizing clearer perceptions towards welfare. Considering current trends towards increased transport times and logistics stops, there is a need to develop systems of welfare assessment and decision-making that provide tools and protocols that can minimize the biological cost to animals and hauliers, which may have been underestimated in the past.

1. Introduction

Moving livestock safely between farms, auction markets, feedlots and abattoirs are essential links of modern animal production (Gilkinson et al., 2016). Additionally, the protection and improvement of

appropriate animal welfare during transport are priorities for the beef industry and for societies worldwide (Thomson et al., 2015). However, even under favourable conditions the stress of transportation can produce several negative consequences such as body weight and feed consumption losses, impairment of the immune system, morbidity and

[☆] This study was funded by the Mexican National Council for Science and Technology-CONACYT – (Project number Ciencia Básica CB-2015-259327) in which the principal investigator is G.C. Miranda-de la Lama.

* Corresponding author at: Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), Av. de la Garza No. 10, Cd. El Pantón Lerma de Villada, Municipio de Lerma, Estado de México, C.P. 52005, México.

E-mail address: g.miranda@correoluz.unam.mx (G.C. Miranda-de la Lama).

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.09.023>

Received 27 January 2018; Received in revised form 19 September 2018; Accepted 20 September 2018
0167-5877/© 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

LIVESTOCK HAULIERS' ATTITUDES, KNOWLEDGE AND CURRENT PRACTICES TOWARDS ANIMAL WELFARE, OCCUPATIONAL WELLBEING AND TRANSPORT RISK FACTORS: A MEXICAN SURVEY

M. Valadez-Noriega^a, L.X. Estévez-Moreno^b, A.A. Rayas-Amor^c, M.S. Rubio-Lozano^a, F. Galindo^a, G.C. Miranda-de la Lama^{c,d,*}

^a Faculty of Veterinary Medicine, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico City, Mexico.

^b Institute of Agricultural and Rural Sciences (ICAR), Autonomous University of Mexico State (UAEM), State of México, Toluca, Mexico.

^c Department of Food Science, Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), Lerma de Villada, State of México, Mexico.

^d Aragonese Agency for Research and Development (ARAID), Agrifood Institute of Aragon (IA2), Department of Animal Production and Food Science, Faculty of Veterinary, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain.

Abstract:

Mexico is the 7th largest producer of beef in the world. The livestock transport is a vital component of today's world agrifood economy that directly impacts on the development of animal production, animal welfare, public policies, labor regulations, food safety, markets and consumers. In this study two aims were established; the first aim was to identify the attitudes and perceptions of commercial hauliers towards animal welfare and their influence on the accident risks. The second aim was to characterize the current practices of the commercial cattle transport in Mexico and to detect the risk factors for animal welfare and hauliers' wellbeing. The interviews were conducted individually at the hauliers' rest points, sanitary inspection points localized along the Federal Highway 57 or at the companies' offices of cattle transportation. We used univariate, bivariate and multivariate statistics based on a hierarchical cluster analysis. The results showed that cattle transport in Mexico is characterized for long travel distances because the cattle departed from farms in the southern states of Mexico to the feedlots located in central and northern regions of the country. The journeys of short and middle distances departed from the feedlots to the slaughterhouses. The hauliers' characteristics were: age from 29 to 48 years old, elementary or secondary studies completed, 65% of hauliers mentioned six years of experience in cattle transport, they learned about cattle transportation by means of a

family member who was already engaged in this activity. The cluster analysis identified four hauliers' groups: groups 1 and 3 were related to animal welfare

and groups 2 and 4 less related to animal welfare. This study showed that empathy towards cattle was a key element in identifying hauliers at risk of road accidents during cattle transportation. Years of experience in cattle transport played an important role in emphasizing closer perceptions towards welfare. Considering current trends towards increased transport times and logistics stops, there is a need to develop systems of welfare assessment and decision-making that provide tools and protocols that can minimize the biological cost to animals and hauliers, which may have been underestimated in the past.

Keywords: *One-health, Hauliers, Cattle transport, Animal welfare, Attitudes.*

The authors dedicate this article in the loving memory of DVM Jesús Wilfredo Miranda Zambrano, who passed away on November 05th 2017.

This study was funded by the Mexican National Council for Science and Technology-CONACYT – (Project number Ciencia Básica CB-2015-259327) in which the principal investigator is G.C. Miranda-de la Lama.

* Corresponding author at: Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Municipio de Lerma, Estado de México, C.P. 52005, México.

E-mail address: g.miranda@correo.ler.uam.mx (G.C. Miranda-de la Lama).

Received 27 January 2018

Received in revised form 19 September 2018

Accepted 20 September 2018

1. Introduction

Moving livestock safely between farms, auction markets, feedlots and abattoirs are essential links of modern animal production (Gilkeson et al., 2016). Additionally, the protection and improvement of appropriate animal welfare during transport are priorities for the beef industry and for societies worldwide (Thomson et al., 2015). However, even under favourable conditions the stress of transportation can produce several negative consequences such as body weight and feed consumption losses,

impairment of the immune system, morbidity and mortality caused by changes in the thermal micro-environment, weather conditions, animal mixing, handling, feed and water restrictions, vibrations, vehicle acceleration, associated fatigue, loading/unloading, injuries, extreme noises, environmental pollutants and human-animal interactions (Cernicchiaro et al., 2012; Miranda-de la Lama et al., 2014). Consequently, animal welfare during transport depends greatly on the attitudes and training of hauliers and the appropriate cattle facilities (Pulido et al., 2018). In this way, precise characterization of transport logistics and operational practices are required for developing animal welfare risk assessment guidelines for cattle transport (Marahrens et al., 2011).

Occupational performance is affected by several factors, including personality, job satisfaction, motivation, self-efficacy, achievement, physical and psychological fatigue, environment, and organization identification (Zhao et al., 2015). The professional hauliers are required to deliver live and healthy animals on time; they are under pressure to drive for long periods and irregular driving schedules. Therefore, hauliers are exposed to extended shifts, sleep restrictions, postural fatigue, exposure to noise-vibration, sedentary lifestyle, unhealthy diet, exposure to diesel exhaust fumes, handling for loading/unloading animals and other occupational stressors, which increase the risk of road accidents (Miranda-de la Lama et al., 2011). Hence, hauliers are of vital interest not only in the animal welfare perspective but also in the one health perspective. The one-health concept has been extensively used to describe transdisciplinary actions that protect the health and welfare of animals, humans, and the environment, an approach that should be adopted by the veterinary science worldwide. Ironically, despite its potential scope, research about One-Health has focused frequently on surveillance and prevalence of zoonotic and vector-borne diseases. In the meat production, One-Health could help to promote key global objectives such as standards that guarantee the health and welfare of farm animals, preventing or reducing occupational hazards that may affect stock-persons (farmers, handlers, hauliers and abattoir operators), promotes sustainability in animal production and generate an integrative vision of the human-animal interactions.

A holistic approach must be adapted to meet present and future challenges by getting physicians, veterinarians, biologists, sociologists, and many others to cooperate for the one-health approach closely linking human and veterinary medicine (Conraths et al., 2011). Much has been learned about stress during transport, but less attention has been paid to identify and correct risks factors from the point of view of interactions between hauliers and animals, partly because they vary widely both nationally and internationally (Herskin et al., 2017). Whereby, there is an increasing interest in understanding how the hauliers' attitudes towards animal welfare can affect the performance during the transport operations. It is therefore interesting to examine the operating procedures of Mexican hauliers to identify any detrimental

effect that operations might have on animal welfare, to be able to recommend appropriate changes in handling protocols and to develop training programs that could minimize the biological cost of animals during transportation and thus minimize weight losses, morbidity, mortality and/or defects in carcass or meat quality. To promote and regulate policy targets for animal welfare during transport, it is important to gain knowledge on the current practices of hauliers in Mexico. Therefore, two aims were established; the first aim was to identify the attitudes and perceptions of commercial hauliers towards animal welfare and their influence on the risk of accidents. The second aim was to characterize the current practices of the commercial cattle transport in Mexico and to detect the risk factors for animal welfare and hauliers' wellbeing.

2. Material and methods

The study was carried out in the State of Queretaro (north-central Mexico) from February to July 2017 because it represents one of the largest feedlots' regions in Mexico. The interviews were conducted individually at the hauliers' rest points (restaurants and gas stations), at the sanitary inspection points of cattle localized along the Federal Highway 57 or at the companies' offices of cattle transportation. The Federal highway 57 crosses Queretaro State and links many major highways that connect four main roads across the Mexican Republic and it is an obligatory State to move cattle from the south to north and from east to west of the country. The study protocols were approved by the Institutional Animal Ethics Committee for the Care and Animal Use (CICUAE) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM).

2.1. Study description

Snow-ball sampling was followed for the enrolment of participants because it has been documented as a helpful technique to target samples that may be hard-to-reach (Faugier and Sargeant, 1997), briefly the procedure sampling was as follows; the hauliers that accepted initially being surveyed linked us with other colleagues that were willing to collaborate in the study by means of “WhatsApp” and “social networks”. The sample size was determined based on the project time and the willingness of hauliers to provide information. The surveyed hauliers drove “pot-belly” trailers only because this type of trucks mobilizes 70% of the commercial cattle in the country. In Mexico, there are at least 1100 pot-belly trailers (AMIS, 2013). The pot-belly trailers are part of the agrifood chain because of the insertion of Mexico (especially in cattle) in the North American Free Trade Agreement (NAFTA) in the past 30 years with the U.S.A. and Canada, in part because of larger loading capacities give as a result low transportation cost per animal. A face-to-face survey was carried out with 74 male professional hauliers between 18 and 62 years-old (mean=40, SD=10.7) from 38 cattle transport companies. There were no women working as hauliers in this activity. Demographic features of participants are presented in Table 1. The interview lasted between 30 to 40 min. To minimize the bias, we ensure that the participants had not known the main objectives of the study (Daros et al., 2017). The interested hauliers in the study were informed that: “participation is voluntary, the information collected is confidential” and if they finally do not participate or if the participants decide to leave the study “their future employment conditions won’t be affected”. No financial remuneration was offered to the participants. The participants had the heavy lorry driver’s license.

2.2. Questionnaire and measurement scales

The questionnaire for this survey was designed to ensure that the interview process did not overwhelm the hauliers and questions were written down to ensure consistent interpretation among participants (Cherry and Adalakun, 2012). A pilot study was carried out in January 2017 using a draft questionnaire and it was applied to 7 hauliers (these participants were excluded from subsequent questionnaires), then the results were used for the development of the final questionnaire that contained 51 questions divided into four sections. The first section (S1) “Demographic profile” focused on determining the profile of hauliers’ population; the second section (S2) was

related to "accidents and occupational risk"; the third section (S3) covered "livestock transport logistics" and finally the fourth section (S4) "animal welfare attitudes", related with hauliers' attitudes and perceptions towards livestock welfare. The sections S2 and S3 consisted of questions about operational and logistic practices during transport; the operational part considered time to unload animals, vehicle load capacity, number of kilometres of the journey, transportation time during a journey, occupational hazards, number of inspections carried out during the transport of cattle in a journey, loading time of cattle, transportation cost per head, body weight loss of cattle during the journey, percentages of dead and injured cattle.

The logistic chain of cattle transport considered the following questions: origin of the journey, methods used by hauliers for minimising sleepiness, cattle classification during pre-loading, cattle handling during loading and unloading, aggressive handling. The fourth section considered perceptions and attitudes towards animal welfare; the responses were based on a 5-point Likert scale (Miranda-de la Lama et al., 2017). Questions in this section included perceptions of hauliers towards animal welfare and whether new animal welfare laws are required to prevent animal abuses during transport operations. The information was obtained by the initial statement 'Do you think that ...' and measured with an ordinal scale of five points (1=surely not, 2=probably not, 3=it does not matter to me, 4=probably yes, and 5=definitely yes). In the same section, the participants were asked about their perception of three aspects of animal welfare based on a literature review (pain, suffering, feelings, and fear).

2.3. Specifications of statistical analyses

Descriptive statistic, univariate, bivariate and multivariate statistic were used for data analysis. A hierarchical cluster analysis (using Ward's method and the Squared Euclidian distance) was used to identify hauliers' profiles (types or groups), variables associated to attitudes and emotions towards animal welfare were used for this analysis. The groups were defined based on the observation of the dendrogram. A cluster name was assigned to each group of hauliers and a dummy variable called "cluster membership" was created to identify the haulier's group. Chi-squared and Kruskal–Wallis tests were used to test significant differences ($P < 0.05$) between groups of hauliers on a set of socioeconomic and production variables (both qualitative

and quantitative) that were not used in the cluster analysis. Thus, the final clusters were profiled by cross-tabulating the variable “cluster membership” with the variables mentioned earlier. All statistical analyses were performed with the IBM®-SPSS® 22 version.

3. Results and discussion

Although it is generally accepted that hauliers have an influence on the suffering of animals during transport, there is no significant research that investigates the relationships between animal welfare, occupational wellbeing, and operational risk factors. Therefore, our study is a pioneer in clarifying these relationships using a national case to understand a phenomenon with broad international implications. It is conceivable that cattle welfare during transport may be interpreted differently from country to country due to culture and tradition. With this in mind, future research should focus on international cooperation and training of all parts of the cattle logistic chain in order to secure more uniform interpretation of cattle welfare during transport (Dahl-Pedersen et al., 2018) across international borders between Mexico, United States of America and Canada.

3.1. Hauliers perceptions towards cattle welfare and their influence on the risk of accidents.

Recently some studies used the multivariate perspective to understand the role of attitudes and personality on the behaviour of hauliers towards animal welfare (Pulido et al., 2018). Whereby, there is an increasing interest in understanding haulier's attitude with respect to management of the transported cattle (Herskin et al., 2017). The cluster analysis suggested the existence of four clusters or hauliers' profiles (G1, G2, G3, G4; Table 3). The four factors corresponding to attitudes towards animal welfare showed differences ($P < 0.05$) among groups. The four profiles were determined by three questions about the recognition of emotions in animals and the need to express their natural behaviour in addition to three other questions about information, legal regulations, and the impact of stress on the meat quality. The level of education and age did not influence the hauliers' profiles. However, there was an association between hauliers' perceptions with years of driving experience and the risk

of accidents on the road. The G1 and G3 groups showed a high positive empathy and recognition of the emotions experienced by the cattle, on the other hand, low values of acceptance were observed in G2 and G4. In all profiles it was recognized that animals experience pain sometimes during transport. Although years of experience in the profession, education and age did not affect this perception, it is likely that everyday experiences during transportation will confront drivers with situations of animal suffering. Although there are no studies in the scientific literature about the perception and opinions of hauliers about animal pain, studies on farmers of dairy cattle in Norway (Kielland et al., 2010) and pigs in the United Kingdom (Ison and Rutherford, 2014) coincide generally with our results.

The recognition of animals as perceptive beings that can suffer unless handled properly resulted in farm animal welfare regulations of both a public and private nature worldwide (Hansson and Lagerkvist, 2016). There is now a substantive body of evidence to support the central and crucial role of such emotional experiences and processes (both positive and negative) in human decision-making (O’Kane et al., 2017). Kielland et al. (2010), reported that farmers who perceive that animals feel pain as humans do have greater empathy towards cattle and better welfare outcomes on their farms. Our study showed that in Latin America (Vargas-Bello-Pérez et al., 2017), and specifically in Mexico, there are evidence of some favorable perceptions of animal welfare not only in citizens and consumers (Miranda-de la Lama et al., 2017) but also in sectors that work directly in animal production systems such as hauliers. The degree of empathy towards animal welfare is a key element to develop intervention strategies for the prevention of risks for animal welfare and occupational welfare of hauliers. Interventions should also include multiple components that target several risk factors (and not only one factor) to better understand which risk factors should be modified for a better welfare outcome in addition to the cost savings. For example, a change in behavior related to one risk factor can improve the outcomes of another (Crizzle et al., 2017). Training in animal welfare and ethological handling, for instance, can lead to empathy towards animals and better handling practices, thus reducing risks of road accidents. The addition of cost-effectiveness and benefit analysis will determine whether the interventions on animal welfare could lead to cost savings for the employer and to improve carcass and meat quality (Schwartzkopf-Genswein et al., 2008).

3.1.1. Hauliers groups 1 and 3: empathy towards animal welfare

Animal welfare involves societal and human values, ethical concerns, and moral considerations since it incorporates the belief of what is right or what is wrong in animal management and care (Cembalo et al., 2016). In this context, G1 and G3 were characterized by showing a high empathy towards animals and recognized that cattle should have the opportunity to display their natural behaviors, like feeling pain and experiencing positive and negative emotions. They were highly aware of the effect of stress on the quality of meat during transport and pre-slaughter operations. Although both groups were empathic towards cattle, the differences between the two groups were notable about the information and the need for new animal welfare laws that regulate transportation. There was a concern in G3 about the lack of information and the need for new laws, this profile was self-critical and reflective more than G1, which was closer to conformism and a neutral attitude to legal change. In Mexico, the information about this issue is scarce, although the social pressure is forcing some companies to incorporate these policies. It is likely that G1 is worried about animal welfare but not to the extent of making important changes that could affect them, although they may feel socially under pressure and may have a "politically correct" position. Recently, Mexican consumers are concerned and there is a tendency to demand products that guarantee humane treatment of farm animals (Miranda-de la Lama et al., 2018a), part of this concern has been encouraged by national and especially international animal protection groups that operate in the country (Vargas-Bello-Pérez et al., 2017). Previous research has found that animal protection groups are more credible sources of information than livestock industry groups and this positive perception tends to increase following animal abuse scandals (Robbins et al., 2016). The G3 group is undoubtedly an interesting profile, they were empathic towards cattle, but at the same time, they were the most realistic of the animal welfare situation in Mexico, even compared to G1. It is probable that the experience of more than six years in the profession was a determining factor for this result. One explanation could be that experience will cause a change in perception which will enable a new level of thinking that is based on each situation along with more holistic knowledge compared to the beginner's abstract knowledge (Pfrunder et al., 2017). Finally, G1 and G3 showed the lowest accidents on the road; however, G3 perceived road accidents as the most serious risk in their activity.

3.1.2. Hauliers groups 2 and 4: skepticism towards animal welfare

Attitudes are reflected in human's behaviour towards cattle, which in turn, affects animal behavior, welfare, and productivity (Kauppinen et al., 2012). We observed that G2 was a transition between G1 and G3, recognizing pain and emotional states in cattle, but they were neutral in relation to the need of animals to express natural behaviors of the species. In the case of G4, they neither recognized that animals could feel emotions nor the need to express natural behaviors. The lack of empathy of the hauliers is a risky situation because it can trigger bad management practices, indolence and even abuse towards animals (Grandin, 1988). The main priority for animal welfare at a livestock transport company is to avoid either animal abuse or obvious pain and suffering (Grandin, 2014). Additionally, animal welfare during transport operations is a point of concern to consumers and animal abuse results in public outrage (Small and Hewitt, 2017).

Both groups coincided with the insufficient information about animal welfare in Mexico and the absence of new laws regulating cattle transport. However, hauliers in G4 were aware that stress during transport could affect the quality of the carcass and meat (mainly hauliers with more than 6 years of experience), while hauliers in G2 denied this could be true (mainly hauliers with less than 6 years of experience). Hauliers in both groups suffered more accidents on the road than G1 and G3, especially rollover in G4 (the most frequent cause of accidents). The rollovers were accidents related to the variables of empathy towards the animals and the driving experience. Scientific literature indicates that fatigue has a detrimental effect on driving even when the driver does not fall asleep, cognitive, and psychomotor function decreases as manifested by distraction, poor concentration, slow reactions, and performance errors (Hadas et al., 2017). Several studies have shown that personality traits are associated with risky driving behaviors and traffic accidents (Tao et al., 2017). To overcome these constraints, hauliers must be actively involved to raise awareness. A contribution of the present work to the literature is that our findings clarified and emphasized the role of driving experience and perceptions towards animal welfare in risky driving behaviors and accidents.

3.2. Cattle transport characterization in Mexico: operations and risk factors

Beef production in Mexico is characterized by calves that typically start their lives on breeding farms in the tropical regions of Mexico and Central American countries; in these areas the calves remain with the mother for seven months or even more in some cases and after being weaned they are transported to feedlots located in the semiarid regions of Mexico. In Mexico, there is free movement of animals from one state to another and this has stimulated an increase in long journeys between farms or from farms to slaughterhouses (Miranda-de la Lama et al., 2012, 2018b).

3.2.1. Operational issues and logistic practices According to the information collected in the surveys, hauliers make different routes according to the supply and demand for livestock throughout the year. A total of 40 cattle mobilization routes were identified (Fig. 2). Seven of these routes corresponded to short-distance journeys (less than eight hours) according to the European Parliament's declaration that supports a limit of eight hours for cattle transport (Miranda-de la Lama et al., 2014) and 33 remaining routes corresponded to long-distance journeys from southern region of Mexico because lower production costs and a high cattle inventory (SIAP, 2015) were found in the southeast of Mexico (70.8%).

The region of central Mexico was mentioned as a center of re-distribution of cattle brought from the south that represented 16.9% of total journeys, while the northern region showed 12.4% of the journeys. The State of Chiapas concentrated 29.4% of total journeys from the southern region, followed by Tabasco state (23.8%) and Veracruz state (11.3%), other Mexican states were mentioned as less frequent. Differences in salary were observed depending on the haulier's experience, independently of the journey time (71.63 ± 27.18 h) to collect cattle in southern Mexico. The average salary was \$191 US dollars for hauliers with 4–6 years of experience and \$313 US dollars for hauliers with more than 10 years of experience for the same journey. Transportation and loading operations for several hours is a physically demanding factor; animals must maintain balance and the contact between animals produces fatigue and bruises that affect animal homeostasis (Losada-Espinosa et al., 2018). The journeys' time was measured in two ways; the first approach considered total hours that took a haulier to do a round-journey, the time included spent hours at the animal health inspection and verification points, toilet, meals and mechanical

failures. The second approach considered spent hours once the cattle were shipped and delivered to the fattening centres at the destination point. Both approaches showed that hauliers spent more than eight hours driving when cattle were shipped in the southern region of Mexico, journey time for the northern and central regions were less than eight hours. About the collection points, 51.4% of the hauliers collected cattle at specific farms while 48.6% shipped cattle in a collection centre. More than 22% of the surveyed hauliers have ever transported animals for Halal or Kosher certifications. Hauliers mentioned a delay in the shipment of cattle that extended journey time (53.5%), the main cause of delay was the lack of cattle to complete the maximum capacity of the trailer to minimise transportation cost per head, however hauliers mentioned to solve this problem on the same day or up to three days later.

The participants mentioned that they did cattle selection and accommodation prior to the shipment (90.5%), which according to them facilitated cattle management during the journey. Cattle accommodation was based on the size of the animal (86.6%), always locating the smaller cattle on the second floor and the biggest on the first floor for balancing the load. The hauliers who did this type of selection also mentioned the risk involved for cattle and for themselves when the mixture of cattle from different places and sizes was performed. The time required for cattle accommodation during loading was longer than unloading (Fig. 3). Significant differences were observed in the loading and unloading times according to hauliers' age. Younger hauliers showed shorter loading ($P=0.019$) and unloading ($P=0.005$) times; the time increased according to haulier's age increased. The latter could be explained by older people, who took greater care during this activity due to their experience with cattle management or it may be related to a deterioration in their ability to conduct this activity.

To move cattle during loading and unloading and during the journey, hauliers used electric prods as a first option (56.8%), shouting (20.3%) and others (10.8%). The use of the electric prods was justified as a necessary tool to avoid the death of cattle that fell down during the journey. However, electric prods are very stressful for cattle. According to Grandin and Shivley (2015), the use of electric prods is the main problem observed by private industry and some governments when auditing animal welfare at transport operations and slaughter plants. Previous studies have shown that increased

handler interaction is correlated with an increased physiological stress response in cattle and that tactile interactions and high-pitched or loud noises are associated with suffering, carcass bruising and high meat pH (Miranda-de la Lama et al., 2011; Probst et al., 2014; Romero et al., 2017).

Hauliers mentioned to carry out long travel distances without assistants (58.9%) and 41.1% mentioned an assistant for general activities. It was found that participation of an assistant in journeys from the southern region represented an advantage within the logistic chain because a significant decrease of more than four hours was found ($P=0.026$). Those hauliers who did cattle selection and accommodation prior to the shipment ($P=0.008$) as well as loading and unloading activities showed greater concern for cattle and they mentioned the need to create new laws about animal welfare ($P=0.028$) than those who were not involved in the handling of cattle. Cattle transported throughout the country were a mixture of commercial hybrids (F1; *Bos indicus* x *Bos taurus*) that represented 81.1%, *Bos indicus* (14.9%) and *Bos taurus* (4.0%). Hauliers transported males (63.5%) and both males and females (36.5%). The size of the livestock that was shipped at the collection points was variable, however, 58.1% of the hauliers were dedicated to collect cattle of 350 kg BW or less with an average of 80 ± 16 heads per trailer; 40.5% collected cattle between 351 and 450 kg BW with an average of 68 ± 6 heads per trailer and only 1.4% transported cattle with more than 450 kg BW with an average of 48 ± 4 heads per trailer. Despite the number of heads per trailer mentioned above; 86.5% of the hauliers mentioned no mortality during the journey, 12.2% mentioned that one animal died due to long journeys and 1.4% mentioned to have a mortality of two animals per trailer. The participants mentioned (51.4%) that cattle did not show visible lesions caused during the journey while 48.6% observed up to five animals with injuries caused during the transportation. A probable explanation for these results is the poor ability of drivers to recognize pain and injuries in animals. Well-trained personnel and hauliers can favor a good human-animal interaction and can promptly recognize early signs of lesions and diseases (Bertocchi et al., 2018).

3.2.2. Risk factors for the occupational wellbeing and animal welfare

Driving is a risky occupation; it shows high rates of injuries and illnesses from all occupations in the world (Versteeg et al., 2018). In our study, the transport of "live cargo" (as hauliers referred to cattle transportation) involves other types of risks during mobilization and handling of livestock; 28.4% of the hauliers said they had suffered accidents during handling of livestock. The most common were falls (71.4%), followed by knocks (23.8%) and body injuries like body twists and muscle contractures (4.8%). These accidents occurred more frequently due to cattle handling (61.5%), while the second cause perceived by hauliers was a poor design of transport (23.1%), 7.7% mentioned a poor maintenance of the trailers and the remaining 7.7% mentioned the rainfall as a cause. To evaluate the perception of hauliers about the design of this type of trailer, an image of a commercial trailer was inserted in the survey (Fig. 1). Hauliers mentioned that compartment four known as "deck" was the most unsafe, because 47.6% of the accidents occurred due to the difficulty of getting in and getting out, 19.0% occurred in the stairs, 14.3% in the ramps located inside the trailer, 4.8% occurred in the back door and the remaining 14.3% in other sections. According to hauliers' experience; 43.2% considered that compartment one (also is known as "front") was the section of the trailer where livestock management was complicated because for cattle was difficult getting in without getting back at least once, another 43.2% considered that the difficulty with cattle handling was not related with the compartment and the remaining 13.6% mentioned "other" compartments.

Hauliers (4.1%) considered that cattle injuries were frequent in compartment one, 2.7% in compartment two, 2.7% in compartment four and 4.1% mentioned "others"; nonetheless, 86.5% assured that the compartment was not the main cause but a deficient accommodation of cattle. Hauliers could be under high levels of stress and fatigue due to excessive traffic, extended periods away from home (Boyce, 2016) and handling of animals (Pulido et al., 2018). According to our survey, cattle transport in Mexico increased the risk associated with this activity. These risks were extended beyond the possibility of suffering an accident during the journey or suffering illnesses associated with extended working hours. The working hours of hauliers in Mexico were variable; it depends on the type of service required by producers as well as the distance in the journey according to the region of origin and final destination of the cattle (north,

middle or south of the country) (Table 2). It was found that once the animals were shipped for departing, hauliers stop only at the animal health inspection and verification points during the journey and while animal inspection was carried out hauliers had their lunch and used the toilets at these points; therefore 63.5% of the hauliers mentioned to stop seven times or more and 29.7% four or six stops. In both cases hauliers mentioned to collect cattle from the north and south of the country, the rest of the hauliers (6.8%) mentioned stopping three times because the journey was carried out in the central region of Mexico.

Five risk factors for hauliers were identified; 37.8% mentioned that the main risk was cattle theft which has become very common in recent years and could happen in each journey, 18.9% mentioned road accidents and money-belongings thefts, 12.2% mentioned government extortions, 10.8% mentioned truck thefts and finally 1.4% mentioned hauliers' murders. According to the participants and the Mexican Institute for the Competitiveness A.C. (2017), Guerrero State is considered one of the most dangerous places to collect cattle, therefore, cattle transport companies do not want to collect cattle from Guerrero State or might be carried out occasionally. Accidents involving hauliers represented a serious threat of working safely, public health and animal welfare.

There are many causes for traffic accidents, such as mechanical failure on vehicles, human failure and problems on the roads beside the use of psychoactive substances that decreases the hauliers' capability to drive safely (Bombana et al., 2017). Our results showed that 23.0% of the participants were involved in road accidents of different types and causes. The commonest accidents reported in this study were rollover (58.8%), collision with another vehicle (29.4%) and 11.8% trucks off-road without damages.

The main cause of the accidents was fatigue (29.4%), other driver's fault (23.5%), distraction while driving (17.6%), mechanical failures (11.8%) and the rest (17.6%) mentioned other causes. In Mexico, there are no records of road accidents involving livestock trucks, the most affected species, and vehicle type are unknown, in the United States of America and Canada the species frequently involved in an accident is cattle (Woods and Grandin, 2008), swine and cattle in Spain (Miranda de la Lama et al., 2011). It was mentioned that 58.8% of the accidents occurred between

20:00 and 05:05 h, all of them occurred because the hauliers were driving continuously for more than 10 h which is common in Mexico, 29.4% of the accidents occurred between 06:00 and 12:59 h and only 11.8% between 13:00 and 19:59 h. Fatigue during driving has been acknowledged as a major contributor to road accidents among long travel distances (Woods and Grandin, 2008). The incidence is greater for hauliers of articulated trucks (i.e. Pot-belly trailers) because delivery schedules affect the hauliers' resting time. Bigger size and mass of these trucks concomitantly increases the severity of injuries and/or the likelihood of fatality (Darwent et al., 2012).

From the total accidents recorded, 82.4% occurred when hauliers were transporting cattle to the slaughterhouse and only 17.6% occurred without cattle. The average cattle injured were 8.3 animals per trailer and the body weight at the time of the accident was 350–450 kg (85.7%) and 550 kg (finished cattle, 14.3%). The animals that survived to the accident were transported in another vehicle (57.1%), while 14.3% continued the journey in the same trailer when the vehicle damage was not severe, 14.3% reported cattle theft at the accident site and the remaining 14.3% did not specify what happened with cattle that survived.

In Mexico, there are no specific protocols for livestock transport accidents that specify how to get cattle out of the vehicle if survived to the accident or in case of animal suffering (Pulido et al., 2018). These situations may occur in other countries around the world; however, specifically Mexico is facing bureaucracy challenges and crime situations that represent a risk for hauliers and transport companies, therefore protocols for these situations are required.

Hauliers work in an environment that requires long periods of relative immobility in the driver seat of a vehicle. This can contribute to an inactive lifestyle that may ultimately lead to poor health. This is especially true when coupled with a poor diet, which many truck hauliers face due to unhealthy foods (Boyce, 2016). The health status and consumption habits of Mexican hauliers during the journey were evaluated. In relation to health condition; 47.3% of hauliers mentioned "good health" and highlighted that they must be checked at the national health service every two years, therefore hauliers should approve health tests if they want to renew the driver license, 10.8% mentioned "do not know" if they present a health problem, 12.2% mentioned overweight and obesity problems, 10.8% mentioned back problems, 9.5% sleep

disorders, 9.5% gastritis, 4.1% arterial hypertension, 4.1% diabetes, 2.7% colitis, 2.7% high levels of cholesterol and 1.4% kidney disease. From the later health problems, only 14.3% of hauliers mentioned being under medical prescription. There is a tendency to consume certain products among hauliers during long journeys. The consumption of products that could have harmful effects for health was mentioned, including soft drinks (85.1%), coffee (77%) and cigarettes (70.3%). These two latter products and energy drinks (56.8%) were consumed to minimize sleepiness. On the other hand, 37.8% consumed "junk food" while driving to reduce the number of stops during the journey. Only significant differences ($P < 0.001$) were found between age and smoking cigarettes; hauliers reduced smoking cigarettes in the range of 39–48 years-old and after 49 years-old increased considerably.

To combat the detrimental effects of fatigue, some hauliers used licit and illicit stimulants (Davey et al., 2007). Little research exists on the prevalence of stimulant use among livestock hauliers. From our results, 77% of the hauliers affirmed to consume drugs that help them to stay awake and alert during long journeys. The active substance of these drugs was "clobenzorex hydrochloride" which is an anorexigenic medication for prolonged release to lose weight that according to Espinosa-Franco and Morín-Zaragoza, 2013 causes adverse effects such as insomnia. For this reason, its consumption was common not only in cattle hauliers but also hauliers of other types of cargo. According to the participants they consumed 30–900 mg in periods of 24 and 72 h. The side effects of these drugs have been studied in doses lower than those found in this study, so the effects of these doses on health are still unknown. Research suggests stimulants might improve both cognitive performance and driving performance when used to combat fatigue.

Even though stimulants can enhance cognitive functions such as vigilance, attention, psychomotor functioning, memory, and visuospatial/visuomotor capabilities, however, research suggests they could develop driving impairments (Gates et al., 2013). The different risks of this activity and its possible causes should be studied carefully to work on prevention because not only live's integrity and health of hauliers are compromised, but also other people's lives and cattle welfare.

4. Conclusions

Our results showed the need to generate an integrative vision in the livestock industry that is a symbiosis between sustainability, human and animal welfare, that means "One-Health". Cattle welfare during transport should be a priority for the livestock industry, without leaving aside wellbeing, health, and labor rights of hauliers. It is likely that a company does not meet acceptable standards of operational quality in animal welfare without establishing a social responsibility policy that creates a healthy working environment for hauliers and related personnel. A motivated, trained and concerned worker towards cattle will be committed to the quality of their work and avoid practices that put cattle welfare and transport operations at risk. In Mexico, there are no specific laws for cattle welfare during transport. This study has been the first attempt for the development of the first Mexican national protocol (perhaps extrapolated to Latin American countries) for the prevention of operational risk factors, haulier's occupational wellbeing and cattle welfare during transport.

Conflict of interest

None of the authors of this paper has a financial or personal relationship with other people or organizations that could inappropriately influence or bias the content of the paper.

Acknowledgments

The authors are thankful to the participants for their spontaneous support and cooperative attitude to conduct this study. Many thanks to the CONACyT and National Autonomous University of Mexico (UNAM), for the Scholarship of Marcela Valadez-Noriega in the Ph.D. Program.

References

AMIS, 2013. Sistema estadístico de datos sectoriales. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros. https://www.amis.com.mx/InformaWeb/.../resumen_SESA_autos_2013_v3.xlsx.

Bertocchi, L., Fusi, F., Angelucci, A., Bolzoni, L., Pongolini, S., Strano, R.M., et al., 2018. Characterization of hazards, welfare promoters and animal-based measures for the welfare assessment of dairy cows: elicitation of expert opinion. *Prev. Vet. Med.* 150, 8–18.

Bombana, H.S., Gjerde, H., Dos Santos, M.F., Jamt, R.E.G., Yonamine, M., Rohlf, W.J.C., et al., 2017. Prevalence of drugs in oral fluid from truck drivers in Brazilian highways. *Forensic Sci. Int.* 273, 140–143.

Boyce, W.S., 2016. Does truck driver health and wellness deserve more attention? *J. Transp. Health* 3 (1), 124–128. Cembalo, L., Caracciolo, F., Lombardi, A., Del Giudice, T., Grunert, K.G., Cicia, G., 2016. Determinants of individual attitudes toward animal welfare-friendly food products. *J. Agric. Environ. Ethics* 29 (2), 237–254.

Cernicchiaro, N., White, B.J., Renter, D.G., Babcock, A.H., Kelly, L., Slattery, R., 2012. Effects of body weight loss during transit from sale barns to commercial feedlots on health and performance in feeder cattle cohorts arriving to feedlots from 2000 to 2008. *J. Anim. Sci.* 90 (6), 1940–1947.

Cherry, C.R., Adelakun, A.A., 2012. Truck driver perceptions and preferences: congestion and conflict, managed lanes, and tolls. *Trans. Policy* 24, 1–9.

Conraths, F.J., Schwabenbauer, K., Vallat, B., Meslin, F.X., Füssel, A.E., Slingenbergh, J., Mettenleiter, T.C., 2011. Animal health in the 21st century—a global challenge. *Prev. Vet. Med.* 102, 93–97.

Crizzle, A.M., Bigelow, P., Adams, D., Gooderham, S., Myers, A.M., Thiffault, P., 2017. Health and wellness of long-haul truck and bus drivers: a systematic literature review and directions for future research. *J. Transp. Health* 7, 90–109.

Dahl-Pedersen, K., Foldager, L., Herskin, M.S., Houe, H., Thomsen, P.T., 2018. Lameness scoring and assessment of fitness for transport in dairy cows: agreement among and between farmers, veterinarians and livestock drivers. *Res. Vet. Sci.* 119, 162–166.

Daros, R.R., Hötzel, M.J., Bran, J.A., LeBlanc, S.J., von Keyserlingk, M.A., 2017. Prevalence and risk factors for transition period diseases in grazing dairy cows in Brazil. *Prev. Vet. Med.* 145, 16–22.

Darwent, D., Roach, G., Dawson, D., 2012. How well do truck drivers sleep in cabin sleeper berths? *Appl. Ergon.* 43 (2), 442–446.

Davey, J., Richards, N., Freeman, J., 2007. Fatigue and beyond: patterns of and motivations for illicit drug use among long-haul truck drivers. *Traffic Inj. Prev.* 8 (3), 253–259.

Espinosa-Franco, B., Morín-Zaragoza, R., 2013. Efectos adversos de fármacos anorexígenicos de liberación prolongada, vol. 16. *Revista Especializada en Ciencias de la Salud, Vertientes*, pp. 1.

Faugier, J., Sargeant, M., 1997. Sampling hard-to-reach populations. *J. Adv. Nurs.* 26, 790–797.

Gates, J., Dubois, S., Mullen, N., Weaver, B., Bédard, M., 2013. The influence of stimulants on truck driver crash responsibility in fatal crashes. *Forensic Sci. Int.* 228 (1), 15–20.

Gilkeson, C.A., Thompson, H.M., Wilson, M.C.T., Gaskell, P.H., 2016. Quantifying passive ventilation within small livestock trailers using computational fluid dynamics. *Comput. Electron. Agric.* 124, 84–99.

Grandin, T., 1988. Behavior of slaughter plant and auction employees toward the animals. *Anthrozoös* 1 (4), 205–213.

Grandin, T., 2014. Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat Sci.* 98 (3), 461–469.

Grandin, T., Shivley, C., 2015. How farm animals react and perceive stressful situations such as handling, restraint, and transport. *Animals* 5 (4), 1233–1251.

Hadas, Y., Tillman, A., Rosenbloom, T., Rossi, R., Gastaldi, M., 2017. Drivers' attitude towards caffeine chewing gum as countermeasure to driver task-related fatigue. *Transp. Res. Proc.* 22, 362–371.

Hansson, H., Lagerkvist, C.J., 2016. Dairy farmers' use and non-use values in animal welfare: determining the empirical content and structure with anchored best-worst scaling. *J. Dairy Sci.* 99 (1), 579–592.

Herskin, M.S., Hels, A., Anneberg, I., Thomsen, P.T., 2017. Livestock drivers' knowledge about dairy cow fitness for transport—a Danish questionnaire survey. *Res. Vet. Sci.* 113, 62–66.

Ison, S., Rutherford, K.M.D., 2014. Attitudes of farmers and veterinarians towards pain and the use of pain relief in pigs. *Vet. J.* 202, 622–627.

Kauppinen, T., Vesala, K.M., Valros, A., 2012. Farmer attitude toward improvement of animal welfare is correlated with piglet production parameters. *Livest. Sci.* 143 (2), 142–150.

Kielland, C., Skjerve, E., Osterås, O., Zanella, A.J., 2010. Dairy farmer attitudes and empathy toward animals are associated with animal welfare indicators. *J. Dairy Sci.* 93, 2998–3006.

Losada-Espinosa, N., Villarroel, M., María, G.A., Miranda-de la Lama, G.C., 2018. Preslaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary monitoring systems: a systematic review. *Meat Sci.* 138, 34–48.

Marahrens, M., Kleinschmidt, N., Di Nardo, A., Velarde, A., Fuentes, C., Truar, A., Otero, J.L., Di Fede, E., Dalla Villa, P., 2011. Risk assessment in animal welfare—especially referring to animal transport. *Prev. Vet. Med.* 102 (2), 157–163.

Mexican Institute for the Competitiveness A.C, 2017. Índice de Paz Mexico 2016. (Accessed 5 January 2018). <http://imco.org.mx/seguridad/indice-de-paz-mexico-2016-via-el-instituto-para-la-economia-y-la-paz/>.

Miranda-de la Lama, G.C., Sepulveda, W.S., Villarroel, M., María, G.A., 2011. Livestock vehicle accidents in Spain: causes, consequences, and effects on animal welfare. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* 14, 109–123.

Miranda-de la Lama, G.C., Leyva, I.G., Barreras-Serrano, A., Pérez-Linares, C., Sánchez-López, E., María, G.A., Figueroa-Saavedra, F., 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 44 (3), 497–504.

Miranda-de la Lama, G.C., Villarroel, M., María, G.A., 2014. Livestock transport from the perspective of the pre-slaughter logistic chain: a review. *Meat Sci.* 98, 9–20.

Miranda-de la Lama, G.C., Estévez-Moreno, L.X., Sepúlveda, W.S., Estrada-Chavero, M.C., Rayas-Amor, A.A., Villarroel, M., María, G.A., 2017. Mexican consumers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare and willingness to pay for welfare friendly meat products. *Meat Sci.* 125, 106–113.

Miranda-de la Lama, G.C., Estévez-Moreno, L.X., Villarroel, Rayas-Amor, A.A., María, G.A., Sepúlveda, W.S., 2018a. Consumer attitudes towards animal welfare friendly products and willingness to pay: exploration of Mexican market segments. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* <https://doi.org/10.1080/10888705.2018.1456925>. (in press).

Miranda-de la Lama, G.C., Rodríguez-Palomares, M., Cruz-Monterrosa, R.G., Rayas-Amor, A.A., Pinheiro, R.S.B., Galindo, F.M., Villarroel, M., 2018b. Long-distance transport of hair lambs: effect of location in pot-belly trailers on thermo-physiology, welfare and meat quality. *Trop. Anim. Health Prod.* 50, 327–336.

O'Kane, H., Ferguson, E., Kaler, J., Green, L., 2017. Associations between sheep farmer attitudes, beliefs, emotions and personality, and their barriers to uptake of best practice: the example of footrot. *Prev. Vet. Med.* 139, 123–133.

Pfrunder, A.A., Falk, A.C., Lindström, V., 2017. Ambulance personnel's management of pain for patients with hip fractures; based on ambulance personnel's gender and years of experience. *Int. J. Orthop. Trauma Nurs.* 27, 23–27. Probst, J.K., Neff, A.S., Hillmann, E., Kreuzer, M., Koch-Mathis, M., Leiber, F., 2014.

Relationship between stress-related exsanguination blood variables, vocalisation, and stressors imposed on cattle between lairage and stunning box under conventional abattoir conditions. *Livest. Sci.* 164, 154–158.

Pulido, M.A., Mariezcurrena-Berasain, M.A., Sepúlveda, W., Rayas-Amor, A.A., Salem, A.Z.M., Miranda-de la Lama, G.C., 2018. Hauliers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare could influence the operational and logistics practices in sheep transport. *J. Vet. Behav.* 23, 25–32.

Robbins, J.A., Franks, B., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2016. Awareness of ag-gag laws erodes trust in farmers and increases support for animal welfare regulations. *Food Policy* 61, 121–125.

Romero, M.H., Uribe-Velásquez, L.F., Sánchez, J.A., Rayas-Amor, A.A., Miranda-de La Lama, G.C., 2017. Conventional versus modern abattoirs in Colombia: impacts on welfare indicators and risk factors for high muscle pH in commercial Zebu young bulls. *Meat Sci.* 123, 173–181.

Schwartzkopf-Genswein, K., Grandin, T., 2014. Cattle transport by road. *Livestock Handling and Transport: Theories and Applications*. pp. 143–173.

Schwartzkopf-Genswein, K.S., Haley, D.B., Church, S., Woods, J., Obyrne, T., 2008. An education and training programme for livestock transporters in Canada. *Vet. Ital.* 44 (1), 273–283.

SIAP, 2015. Bovino carne y leche: Poblacion ganadera 2006–2015. (Accessed 2018). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165997/bovino.pdf>.

Small, A., Hewitt, L., 2017. Transport and pre-slaughter management. *Advances in Sheep Welfare*. pp. 227–243.

Tao, D., Zhang, R., Qu, X., 2017. The role of personality traits and driving experience in self-reported risky driving behaviors and accident risk among Chinese drivers. *Accid. Anal. Prev.* 99, 228–235.

Thomson, D.U., Loneragan, G.H., Henningson, J.N., Ensley, S., Bawa, B., 2015. Description of a novel fatigue syndrome of finished feedlot cattle following transportation. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 247 (1), 66–72.

Vargas-Bello-Pérez, E., Miranda-de la Lama, G.C., Teixeira, D.L., Enríquez-Hidalgo, D., Tadich, T., Lensink, J., 2017. Farm animal welfare influences on markets and consumer attitudes in Latin America: the cases of Mexico, Chile and Brazil. *J. Agric. Environ. Ethics* 30 (5), 697–713.

Versteeg, K., Amoli, T., Cao, M., Chin, M., Bigelow, P., Yazdani, A., 2018. Mixed-method analysis of truck driver health knowledge using an online forum. *Saf. Sci.* 102, 51–59.

Woods, J., Grandin, T., 2008. Fatigue: a major cause of commercial livestock truck accidents. *Vet. Ital.* 44, 259–262.

Zhao, S., Liu, L., Chen, H., 2015. Factors influencing the occupational wellbeing of experienced nurses. *Int. J. Nurs. Midwifery Sci.* 2 (4), 378–382.

Table 1.

Perfil socio-demográfico de la muestra de conductores (n=74).

Datos del conductor	Porcentaje
Edad(años)	
18 a 28	13.5
29 a 38	37.8
39 a 48	32.4
≥49	16.2
Escolaridad	
Primaria	20.3
Secundaria	51.4
Preparatoria o superior	28.4
Experiencia (años)	
<1 a 3	10.8
4 a 6	21.6
7 a 10	18.9
más de 10	48.6
Aprendizaje	
Familia	48.6
Trabajo	31.1
Otro	20.0

Table 2.

Logística del transporte de ganado de media ceba en las diferentes regiones del país.

Aspectos relacionados con el acopio de ganado	Acopio en región norte	Acopio en región centro	Acopio en región sur
Viajes para acopio de ganado			
No.de conductores que viajan a cada región*	9	18	74
Frecuencia de viajes para acopio (%)	12.4	16.8	70.8
Principales estados de acopio			
	Chihuahua	Querétaro	Chiapas
	Durango	Zacatecas	Tabasco
	Sonora	Jalisco	Veracruz
	Sinaloa	Aguascalientes	Yucatán
	Tamaulipas	Hidalgo	Oaxaca
Tiempo de un viaje para acopio de ganado			
Duración total del viaje (h)	53.88 ± 26.80	23.67 ± 13.41	71.63 ± 27.18
Duración del viaje una vez con carga (h)	15.69 ± 5.69	10.80 ± 6.89	24.41 ± 11.34
Paradas realizadas una vez con carga (%)**			
1 a 3	0	27.8	6.8
4 a 6	33.3	38.9	29.7
≥ 7	66.7	33.3	63.5

* Un mismo conductor puede realizar viajes a diferentes regiones.

**Las paradas realizadas incluyen paradas en los puntos de verificación e inspección (PIV).

Table 3.

Actitudes y percepciones de los conductores hacia el bienestar de los animales.

Variable	G1 n=20	G2 n=34	G3 n=15	Media n=69	P
Percepciones sobre bienestar animal (promedio)^a					
Se debería capacitar sobre bienestar animal a los conductores	4.4	4.74	2.73	4.2	0.000
Nuevas leyes en bienestar animal son necesarias para evitar abusos en el trato a los animales durante el transporte	2.5	4.41	1.73	3.28	0.000
El ganado debería poder expresar los compartimientos naturales de su especie	4.4	4.44	1.87	3.87	0.000
El ganado es capaz de sentir emociones (positivas o negativas)	4.95	4.38	3.47	4.35	0.000
El bienestar y la protección de ganado en México deberían ser mejoradas	4.15	4.79	4.27	4.49	0.022
El estrés en el ganado durante la producción y transporte afecte la calidad de los productos que consume	3.15	4.71	3	3.88	0.000
Riesgos, accidentes y aspectos logísticos del transporte (% conductores)^b					
El conductor ha sufrido algún accidente durante el transporte de ganado	20.00	17.65	33.33	21.74	<i>Ns</i>
El conductor ha sufrido una volcadura durante el transporte de ganado	10.00	5.88	33.33	13.04	0.028
El conductor ha sufrido una caída en la jaula durante la carga o descarga de ganado	10.00	26.47	46.67	26.09	0.049
El conductor considera que el ganado es más difícil de manejar en algún compartimiento de la jaula	25.00	64.71	66.67	53.62	0.010
El conductor realiza habitualmente más de un viaje por semana	40.00	47.06	65.00	53.62	0.013
Se mueren animales durante el transporte	10.00	17.65	13.33	14.49	<i>Ns</i>
Principales riesgos para el bienestar animal ocurren durante el transporte	30.00	50.00	53.33	52.54	<i>Ns</i>
Principales riesgos para el bienestar animal ocurren durante otras partes del proceso (rastro, granja, manejo)	70.00	50.00	46.67	55.07	<i>Ns</i>

Valores de *P* corresponden a Prueba de Kruskal Wallis (a) y Prueba de Chi cuadrado (b). *P* < 0.05 denota la existencia de diferencias significativas al interior de los grupos.

Figure 1. Desing of the tráiler used to transport livestock in Mexico. (1) Tip or nose; (2) belly; (3) backend; (4) deck; (5) doghouse or kitchen; (6) side stairs; (7) back door; (8) roof.

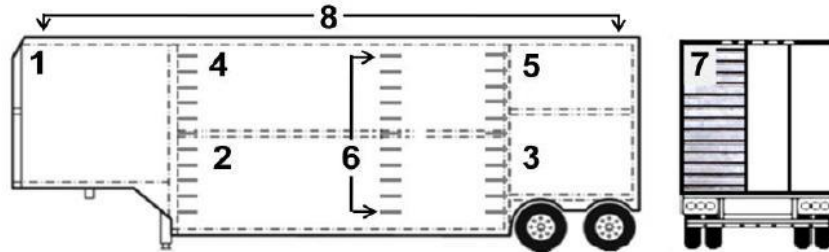


Figure 2. Cattle collection points and transport routes in different regions of Mexico.

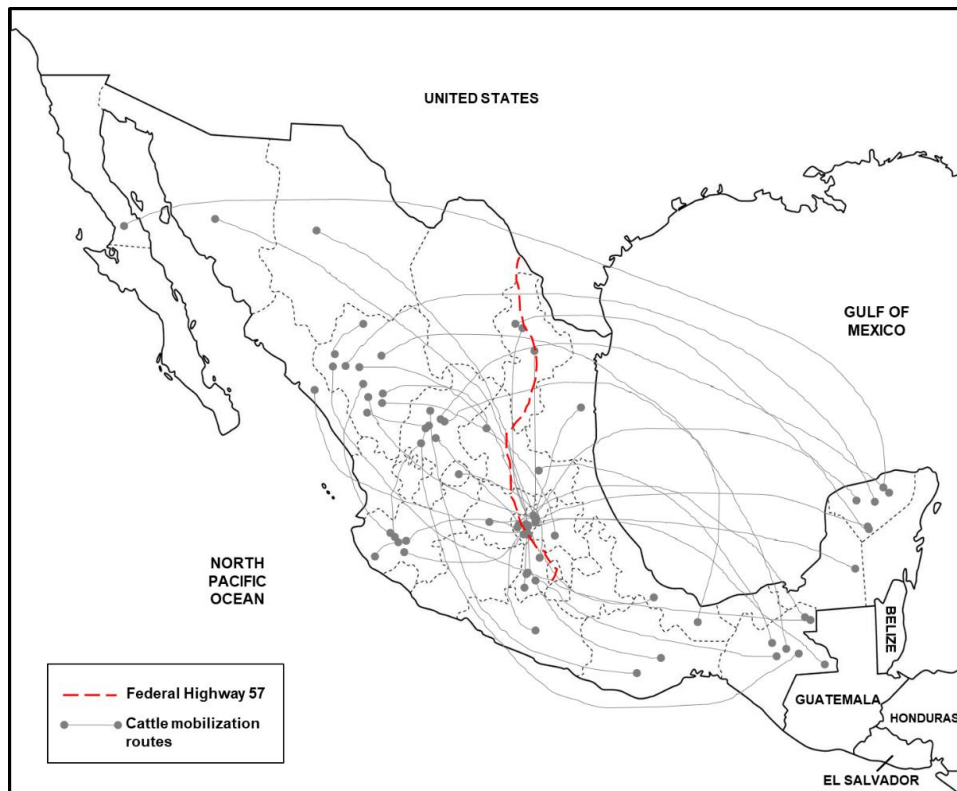
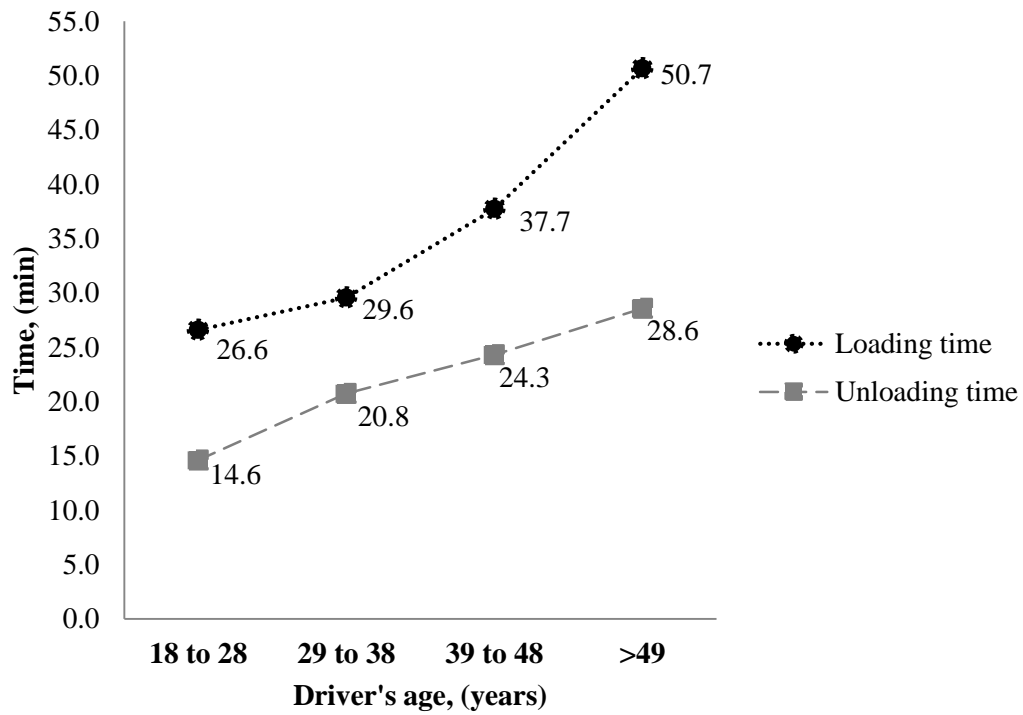


Figure. 3. Influence of the hauliers' age on the time for cattle loading and unloading. Means with different lowercase letter differ (Kruskal–Wallis test, $P < 0.05$).



4.2. Artículo 2

Publicación:

Livestock Science

Elsevier

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105083>

Livestock Science 265 (2022) 105083



Contents lists available at ScienceDirect

Livestock Science

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



Consequences of long-distance transport on the behavior and health of young-bulls that may affect their fitness to adapt to feedlots

M. Valadez-Noriega^a, L.X. Estévez-Moreno^{b,*}, F. Galindo^a, F. Pérez-Martínez^c, M. Villarroel^d, G.C. Miranda-de la Lama^{b,*}

^a Faculty of Veterinary Medicine, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico City, México

^b Department of Animal Production & Food Science, Agri-Food Institute of Aragón (IA2), University of Zaragoza, Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, Spain

^c Department of Information Systems and Communication, Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), Lerma de Villada, State of México, México

^d CERGAM, ETSIAAB, Technical University of Madrid (UPM), Madrid, Spain.

HIGHLIGHTS

- The consequences of long-distance transport on the fitness of young bulls to adapt to the feedlot are unknown.
- We studied the post-arrival consequences of 32-hour journeys and the trailer compartment in 104 young bulls.
- We found post-transport fatigue (PTF) during the first two weeks' post-arrival.
- We found persistent signs of bovine respiratory disease (BRD) from day 5 to day 60 post-arrival.
- Transporting young bulls in the belly was linked to fatigue after transport, while transport in the deck was associated with respiratory problems.

ARTICLE INFO

Keywords:

Cattle feedlot welfare
Post-transport adaptation
Post-transport fatigue
Bovine respiratory disease
Pot-belly trailer
Thermophysiological stress response

ABSTRACT

Some studies have shown that long distance journeys and the type of trailer compartment have consequences on farm animal welfare. However, there is little evidence to indicate how these consequences affect the fitness of young bulls to adapt to a novel and challenging environment such as an intensive industrial feedlot. Therefore, the objective of our study was to evaluate the consequences of long-distance transport and trailer compartment on the behavior and health of young bulls during the first 60 days after arrival to the feedlot. An evaluation protocol was conducted to record individual behavior (scan sampling) and health indicators of young bulls from days 1-10 and 51-60 after arrival. In addition, three ocular thermal images were taken per animal in a chute during weighing, one each on day 0, day 2 (48 h) and day 50. From our results, the thermophysiological profile, maintenance behaviors and health indicators suggest that there are two distinct groups of consequences affecting animal fitness during the first two months in the feedlot. The first was linked to post-transport fatigue (PTF) that seemed to disappear after the 10 days post-arrival at feedlot. The second was related to signs of bovine respiratory disease (BRD) that began 6 days post-transport and persisted until day 60. In addition, the trailer compartments known as the belly and the deck were shown to be problematic for animal welfare, where the transport in the belly was linked to fatigue after transport, while transport in the deck was associated with respiratory problems. Our study underscores the importance of applying preconditioning practices in cow-calf rearing systems at least a couple of months prior to the long-distance journey, in addition to implementing good loading practices to select which animals are best suited for a given compartment. Our results may be useful to minimize the impacts of PTF and BRD, to propose best practices for livestock transport in countries with similar production systems and agroecosystems.

* Corresponding authors.

E-mail addresses: laem92@yahoo.es (L.X. Estévez-Moreno), genaro@unizar.es (G.C. Miranda-de la Lama).

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105083>

Received 18 May 2022; Received in revised form 25 September 2022; Accepted 2 October 2022

Available online 4 October 2022

1871-1413/© 2022 The Author(s). Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

*Los derechos de esta publicación pertenecen a los autores, por lo que este artículo se presenta en su formato original.

CONSEQUENCES OF LONG-DISTANCE TRANSPORT ON THE BEHAVIOR AND HEALTH OF YOUNG-BULLS THAT MAY AFFECT THEIR FITNESS TO ADAPT TO FEEDLOTS

M. Valadez-Noriega ^a, L.X. Estévez-Moreno ^b, F. Galindo ^a, F. Pérez-Martínez ^c, M. Villarroel ^d, G.C. Miranda-de la Lama ^{b *}

^a *Faculty of Veterinary Medicine, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico City, México.*

^b *Department of Animal Production & Food Science, Agri-Food Institute of Aragon (IA2), University of Zaragoza, Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, Spain*

^c *Department of Information Systems and Communication, Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), Lerma de Villada, State of México, México.*

^d *CEIGRAM, ETSIAAB, Technical University of Madrid (UPM), Madrid, Spain.*

HIGHLIGHTS

- The consequences of long-distance transport on the fitness of young bulls to adapt to the feedlot are unknown.
- We studied the post-arrival consequences of 32-hour journeys and the trailer compartment in 104 young bulls.
- We found post-transport fatigue (PTF) during the first two weeks' post-arrival.
- We found persistent signs of bovine respiratory disease (BRD) from day 5 to day 60 post-arrival.
- Transporting young bulls in the belly was linked to fatigue after transport, while transport in the deck was associated with respiratory problems.

Abstract

Some studies have shown that long distance journeys and the type of trailer compartment have consequences on farm animal welfare. However, there is little evidence to indicate how these consequences affect the fitness of young bulls to adapt to a novel and challenging environment such as an intensive industrial feedlot. Therefore, the objective of our study was to evaluate the consequences of long-distance transport and trailer compartment on the behavior and health of young bulls during the first 60 days after arrival to the feedlot. An evaluation protocol was conducted to record individual behavior (scan sampling) and health indicators of young bulls from days 1-10 and 51-60 after arrival. In addition, three ocular thermal images were taken per animal in a chute during weighing, one each on day 0, day 2 (48 h) and

day 50. From our results, the thermophysiological profile, maintenance behaviors and health indicators suggest that there are two distinct groups of consequences affecting animal fitness during the first two months in the feedlot. The first was linked to post-transport fatigue (PTF) that seemed to disappear after the 10 days post-arrival at feedlot. The second was related to signs of bovine respiratory disease (BRD) that began 6 days post-transport and persisted until day 60. In addition, the trailer compartments known as the belly and the deck were shown to be problematic for animal welfare, where the transport in the belly was linked to fatigue after transport, while transport in the deck was associated with respiratory problems. Our study underscores the importance of applying preconditioning practices in cow-calf rearing systems at least a couple of months prior to the long-distance journey, in addition to implementing good loading practices to select which animals are best suited for a given compartment. Our results may be useful to minimize the impacts of PTF and BRD, to propose best practices for livestock transport in countries with similar production systems and agroecosystems.

Keywords: Cattle feedlot welfare, Post-transport adaptation, Post-transport fatigue, Bovine respiratory disease, Pot-belly trailer, Thermophysiological stress response.

1. Introduction

For economic and logistical reasons, the transport of live animals is an integral part of the global meat production chain, with direct and indirect impacts on the price of meat, safety, traceability, food safety, marketing, trade barriers and public opinion, as well as having important implications for animal welfare (Miranda-De La Lama et al., 2014). Actually, in many regions/parts of the world the production flow of beef cattle starts with the animals being born in a cow-calf system, weaned, and hauled to a sale barn where they are sold and transported to a stocker operation (Estévez-Moreno et al., 2021). There they are grown for a period of time, transported to a feedlot for the finishing phase, and then finally transported to a slaughter facility (Schuetze et al., 2017). Specifically, in the Mexican case, the cow-calf system is tropical extensive and/or semi-extensive in the southeastern states of the country, followed by finishing in intensive feedlots located in the semi-arid regions of the Bajío and northern part the

country (Valadez-Noriega, et al., 2020). Therefore, journeys longer than 30 hours are more the rule than the exception in the Mexican beef industry. Since Mexico, Canada and the U.S. signed the North American Free Trade Agreement (NAFTA) 30 years ago, beef transportation in Mexico has been gradually modernized by replacing the national fleet of single-deck trucks with pot-belly trailers (Valadez-Noriega et al., 2018). This is because the pot-belly design is suitable for long-distance transport and has greater load capacity (typically 30-45 young bulls or 60-75 calves), resulting in a low transportation cost per animal (Kannan et al., 2016). This type of trailer is characterised by a rigid aluminium chassis with symmetrical perforations (passive ventilation), double deck, two to four axles, five compartments and internal ramps (Schwartzkopf-Genswein and Grandin, 2014).

The term "pot-belly" refers to the design of the trailer belly which, when loaded, increases stability (reducing the potential for rollover accidents) and allows for better utilisation of space (Shearer, 2021). However, this type of trailer has been criticized for the difficulties involved in handling livestock due to the need for the animals to negotiate multiple internal ramps and poor autonomy for loading/unloading, because they do not have hydraulic unloading ramps and tend to rely on loading/unloading docks at farms, feedlots and slaughterhouses. In addition, some compartments during transport have been linked to heat stress (belly) and cold stress (doghouse), which could affect the health and welfare of cattle upon arrival at the feedlot (González et al., 2012a; Goldhawk et al., 2014). Even under favorable conditions, cattle are exposed to a number of potential stressors that can compromise their welfare, health and performance during transportation and logistics operations, due to changes in the thermal micro-environment, weather conditions, changes in the social structure (separation or/and mixing), handling, withdrawal of feed and water, vibration and acceleration and associated fatigue, exposure to new pathogens, position in the truck, loading and unloading stress and injury, noise and environmental pollutants (Miranda-de la Lama et al., 2014). The interaction between these stressors, with pre-existing health and welfare conditions and individual differences, can limit or affect an animal's fitness during each journey (Miranda-de la Lama et al., 2020). Consequently, transportation is a critical logistic period in the beef cattle industry, and the annual economic losses (i.e. mortality, dark meat, carcass bruising) caused by transport stress are substantial (Zhao et al., 2021). These losses are especially important for calves

and young bulls transported from their initial farms or feedlots to finishing feedlots (Roberts et al., 2016). Most of the animals sent to feedlots are healthy and physically fit, but, depending on the length and quality of the journey, transport can pose a significant challenge even for fit and healthy animals (Cockram, 2019). Several studies have shown that stress caused by long-distance transport in cattle is associated with increased incidence and severity of bovine respiratory disease (BRD), commonly referred to as "transport fever" (Earley et al., 2017). BRD is a worldwide welfare, health and economic concern and is the number one disease of stocker, backgrounder, and feedlot cattle in North by a complex interaction between different viral and bacterial pathogens, and stress from environmental factors that suppress host defense mechanisms, facilitate the spread of the pathogen, or both (Lowie et al., 2021).

Although the disease can occur in cattle of any age, they are more likely to be affected soon after arrival at the feedlot as they are exposed to a wide range of respiratory pathogens (Timsit et al., 2016). Signs of the disease include fever, anorexia, and lethargy, in addition to disease-specific clinical signs such as nasal discharge, coughing, and abnormal breathing (Toaff-Rosenstein et al., 2016). Traditionally, the diagnosis of BRD is based on the detection of some signs by pen-checkers (i.e. depression, anorexia, fever), although this diagnostic approach is not always accurate because cattle are prey animals and therefore often mask signs of disease, especially in the presence of people (Weary et al., 2009; Timsit et al., 2016). Additionally, post-transport fatigue (PTF) is a condition of physiological and emotional exhaustion related to the effort an animal has been subjected to during a journey of prolonged duration or high intensity (vibration, high densities, sudden temperature changes, social regrouping) (Miranda-de la Lama et al., 2020; EFSA Panel on Animal Health and Welfare AHAW., 2022). The most common signs of this condition are decreased behavioural motivation, lethargy and loss of muscle coordination (Broom and Kirkden, 2004). Despite the numerous studies that have been conducted to understand the factors and their interactions that cause BRD and PTF disorders, there is no information on the role of the trailer compartment in long distance transport, and its possible effect on animal fitness upon arrival and while adapting to a new feedlot. Therefore, the aim of our study was to evaluate the consequences of long-distance transport and trailer compartment on the behavior and health of young bulls during the first 60 days after arriving to a feedlot.

2. Material and Methods

The study was conducted in October 2017-February 2018 (winter) to study the consequences of long-distance transport and trailer compartment on the behavior and health of commercial young bulls during two long-distance journeys. The animals were transported from an extensive commercial farm located in the municipality of Tizimín (21°08' 33 "N, 88°09' 53 "W), Yucatán state (in the Southeastern part of the country) to a commercial feedlot in the municipality of Ezequiel Montes (20°42' 26.4 "N, 99°54' 48.5 "W) in the state of Querétaro (Bajío region in the North-central part of the country). The municipality of Tizimín is located 20 m above sea level and a mean temperature of 25°C (range of 16°C to 35°C). The Köppen classification describes the climate of this municipality as warm sub-humid AWO (x') (i) g with a short, hot and partly cloudy summer and winters that are hot, humid and mostly clear. The average annual precipitation is 1154 mm. Cattle from this region are normally raised in the state and sold to fatteners in the center and north of the country when they are grown to more than 350 kg. These cattle are considered medium-large in the market and due to their characteristics are considered medium fattening cattle. This means that when they are introduced into an intensive fattening system, they can reach the desired slaughter weight (between 550 and 600 kg) in a period of 90 to 120 days. Meanwhile, the municipality of Ezequiel Montes is located at 1978 m above sea level and a mean temperature of 18.5°C (range of -5°C to 27°C). The Köppen climate classification system describes the municipality as cold semiarid climate (BSk), with hot summers and cool winters, and most rainfall occurring in the cooler months, and an average annual precipitation of 573mm. This feedlot was chosen because of its installed capacity and because it is located in one of the largest cattle fattening regions in Mexico. All study procedures were conducted within the guidelines of approved local official norms for animal care (NOM- 015-ZOO, 2002: Humanitarian care of animals during transport), and the study protocols were approved (DC-2022/3-1) by the Institutional Animal Ethics Committee for the Care and Animal Use (SICUAE) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM).

2.1. Study description

Post-transport assessments were implemented as a cross-sectional study to assess the behavioral and health consequences of long-transport distance and trailer

compartment in young bulls that entered a commercial feedlot through standard schedules. We used a total of 104 commercial zebu young bulls, from 24 to 30 months of age and an average live weight of 376.9 (\pm 42.8) kg, from two long distance journeys (32h). The young bulls were pre-fed under similar conditions, mainly on forage grasses such as Taiwan (*Pennisetum purpureum*), guinea (*Panicum maximum*), Star of Africa (*Cynodon niemfluensis*), Brizantha (*Brachiaria brizantha*) and Tanzania (*Panicum maximum var. Tanzania*), and mineral salt supplements. The two journeys were conducted with a 2-week difference between the first (n=54) and the second one (n=50). The transport distance between the origin (Tizimin) and the destination (Ezequiel Montes) was 1,679km, always on highways. Each journey lasted 32 h (29 h transport + 3 h of loading and unloading, and verification stops at sanitary control posts) and the time between the different procedures was maintained the same. Journeys always started at 14.00 h and arrival was the following day at approximately 22.00 h.

The first journey was conducted from October 28 to 29, 2017, recording at origin a temperature of 30.3°C and 77% relative humidity, while at arrival the temperature recorded was 11.4°C and the relative humidity was 66%. The second journey was carried out from November 9 to 10, 2017, recording a temperature at origin of 28.7°C, and a relative humidity of 73%. On arrival at the feedlot, the temperature recorded was 9.9°C and a relative humidity of 60%. Our study, including unloading and management related to the reception and adaptation of the animals in the feedlot, was performed under commercial conditions, but monitored by project personnel. For both journeys the truck-trailer and driver were the same. Pot-belly trailers have five compartments, known as nose, belly, back, deck and doghouse. In our study only the first four compartments were analyzed (Fig. 1), because the size and weight of the transported animals did not allow to use the doghouse. Not using the doghouse compartment is a common and recommended practice to avoid injury and prevent accidents due to possible loss of balance (Pederson et al., 2018). Upon arrival to the feedlot (day 0), the animals in each compartment were unloaded, using the unloading dock and aisles and introduced one by one into a handling chute, where each animal was imaged using an infrared thermographic camera, weighed and ear-tagged on the right ear (always in that order). A specific color ear tag was used for each compartment (nose: blue; belly: yellow; back: green; and deck: white) and the ear tag was marked with three digits to

maintain individual animal identification. After these procedures, animals from the same journey were housed in the same pen for the duration of the study and baiting. The pen was approximately 700 m² (14 m² per animal), with a roof that covered the whole pen, at a height of 7.30 m. The pen had two water troughs (130 cm long and 60 cm high, made of concrete, 250 L capacity), a lying area (bare soil), and a feeding area with a concrete floor (see Valadez-Noriega et al., 2020). Immediately upon introduction to the pen, the animals had *ad libitum* access to fresh water and feed (Fig. 2). The diet was formulated according to NRC (2000) and contained (g/kg DM) maize straw (200), (10; Enervit, Zuavit SA de CV, Ecatepec, Mexico), mineral premix (15), buffer (5; containing [mg/kg DM] Na 182, 84 mg), and 6.7 mg/kg of zilpaterol hydrochloride (Zilmax, Intervet; Merck and Co., Inc., Madison, NJ, USA). The chemical composition of the diet was 132 g/kg DM of crude protein, 7 and 3 g/kg DM of calcium and phosphorus, respectively, and 1.9 and 1.29 Mcal/kg DM of net energy for maintenance and body weight gain, respectively. At 48 h post-arrival, the animals were subjected to a reception protocol which consisted of administering a clostridial vaccine (Ultrachoice 8, Zoetis), an anthelmintic (Safeguard, Merck Animal Health, Kenilworth, NJ), a pentavalent modified-live virus respiratory vaccination (containing bovine herpesvirus-1, bovine viral diarrhea virus types 1 and 2, parainfluenza-3 virus, and bovine respiratory syncytial virus; (BoviShield Gold 5, Zoetis, Kalamazoo, MI), and an implant that contained 200 mg of trenbolone acetate and 40 mg of estradiol (Revalor-XS, Merck Animal Health). At 50 d post-arrival, a systemic deworming agent was applied and a new anabolic implant was inserted.

2.2. Thermophysiological measurements and weighing

An infrared thermal camera (FLIR i7, FLIR Systems, Boston, MA) was used to collect ocular thermal images of each animal while in the chute as described by Baier et al. (2020). Three images were taken per animal, one on day 0, day 2 (48 h) and day 50. Each image was taken of the right eye from a distance of approximately 0.914 m, measured by the internal laser beam and the calibrated laser beam of the IR camera in perpendicular alignment to the ocular area of interest. The measuring laser beam was positioned rostral to the eye to avoid direct contact with the eye. All images were taken by the same researcher, while she was immediately to the right of the chute. Images were analyzed using the FLIR R&T software package. Animals were weighed

on the same days after each image was taken, always using the same scale, which was calibrated before weighing.

2.3. Behavioral assessment

Animals were observed on days 1-10 and 51-60 post-arrival, to quantify behavioral changes as a consequence of fatigue from the journey and adaptation to the feedlot. Scan sampling was conducted every 10 minutes for 6 h per day (09:00 AM to 11:00 AM, 12:00 PM to 14:00 PM and 15:00 PM to 17:00 PM) for 20 days (2 periods of 10 days), for a total observation time of 120 h per journey, giving a total of 780 scan samples per animal (104 animals) and 81,120 observations of maintenance behaviors to obtain information on the total time spent lying idle down (recumbent, not supported by legs), standing idle (supported by legs but not performing locomotion), walking (moving from one place to another), ruminating (performing slow chewing movements and regurgitations), feeding (head inside the feeder trough), drinking (head inside the water trough), and self-licking (licking self on the chest, flank or legs).

2.4. Health assessment

An evaluation protocol for recording daily health conditions of young bulls was developed based on an exhaustive literature review and preliminary observations by the research team. The protocol was validated with 50 animals from a pilot journey prior to our study. The evaluation was carried out on days 1-10 and 51-60 post-arrival. Sampling was always performed at 18.00 h in the pens, which included a 3- point scale nasal discharge score, where 1 was clear discharge, 2 was turbid discharge and 3 was bloody discharge. Subsequently we measured ocular discharge (score of 2: presence or absence), coughing (score of 2: presence or absence), muscle tremors (score of 2: presence or absence), apathy (score of 2: presence or absence), bruxism (score of 2: presence or absence), signs of fever (score of 2: presence or absence), diarrhea (score of 2: presence or absence), lameness (score of 2: presence or absence), wounds (score of 2: presence or absence), and contusions (without bleeding) in locomotor limbs and other body parts (score of 2: presence or absence). The evaluation was always performed by the same observer and in the same order.

2.5. Statistical analyses

Data were entered into Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2010) and then analysed with the SPSS statistical package (IBM SPSS Statistic 22). Differences ($P < 0.05$) in eye temperature, animal weight, and maintenance behaviors during the first two months post-transportation were examined using a one-way repeated measure analysis of variance (ANOVA). The truck compartment where the animals were transported (nose, belly, back, and deck) was included as a fixed categorical factor. In the case of temperature and weight, three moments of measurement were compared (0 h, 48 h, and 50 days), while for the behavior two different analyses were performed: 1) comparing the first ten days post transport and 2) comparing four observation periods, each grouping the observations of 5 days (P1= day 1 to 5, P2= day 6 to 10, P3= day 51 to 55, and P4= day 56 to 60). These analyses were supplemented with Friedman's test and Wilcoxon signed-rank test for non-parametric variables. The appearance of clinical signs in young bulls was examined by comparing their prevalence in the four observation periods using Cochran's Q test. Each of the clinical signs was registered as prevalent if it was observed during at least one of the 5 days within each period. When significant differences were detected, multiple McNemar's tests were applied to perform pair-wise comparisons.

3. Results

No animals died during the two journeys or after arrival to the feedlot, nor were there any non-ambulatory animals.

3.1. Thermophysiological measurements and weighing

The mean eye temperature upon arrival to the feedlot was 37.1°C (± 2.3). Then, 48 h later the mean temperature was 37.9°C (± 1.4) and at 50 days it was 37.3°C (± 3.9), with no significant differences between the three measurements. However, when analysing the evolution of temperature in the animals per compartment, the ocular temperature measured upon arrival (36.5°C) was significantly ($P < 0.05$) lower in the belly compartment compared to 48 h and 50 days later (38.1°C and 37.1°C , respectively). The mean weight of young bulls upon arrival was 376.9 (± 42.8) kg, then 400.0 (± 44.5) kg after 48 h, and 478.3 (± 70.2) kg 50 days post-transport. In addition, during the first 48 h post-transport, the average daily weight gain was higher (11.6 ± 6.2

kg) compared to between days 3 and 50 (1.7 ± 1.1 kg; $P < 0.01$). No significant differences were found when comparing compartments and mean weights over the three measurements.

3.2. Behavioral assessment

Of the seven behavioral categories studied, only drinking and self-grooming remained stable on the first day post-transport ($P > 0.05$). In contrast, the time spent resting was less on days 3, 5 and 8 to 10, while on most days the animals spent more time standing than on the first day. The frequency of walking was similar to the first day except for days 3, 5 and 7. The frequency of ruminating decreased consistently from day 5 onwards, while a higher percentage of time was spent eating on days 3, 5 and 8 to 10. The post-transport maintenance behaviors across the 4 observation periods can be seen in Table 1. No significant differences were observed between observation periods for drinking behavior ($P > 0.05$), while for the remaining six behavioral categories measured there were significant differences ($P < 0.05$). The animals spent more time lying down in periods 1 and 3, compared to periods 2 and 4. For standing behavior, the animals had a lower percentage for this category in period 1, but it increased significantly in the remaining 3 periods. For walking, the animals showed higher activity in periods 1 and 2 compared to periods 3 and 4, although the percentage of animals walking compared to the previous two categories of behavior (lying and standing) was very low (less than 3.5%). In the case of feeding behavior, the percentage was higher in period 2 compared to the other three periods, while rumination had a lower percentage in period 2 compared to the other three periods. Self-grooming was very low throughout the study but significantly higher in period 4 compared to the first three observation periods. In the case of the behavioral consequences of long-distance transport related to the trailer compartment, significant differences were found in all four compartments. In the case of the nose, significant differences were found for the variables of lying, standing, feeding and rumination ($P < 0.05$). For the belly, significant differences were found for lying, standing, walking, feeding, rumination and self-grooming ($P < 0.05$). For the deck, significant differences were observed for lying, standing, rumination and self-grooming ($P < 0.05$). Finally, for the back compartment, there were only significant differences in the four periods for the standing and rumination behavior ($P < 0.05$).

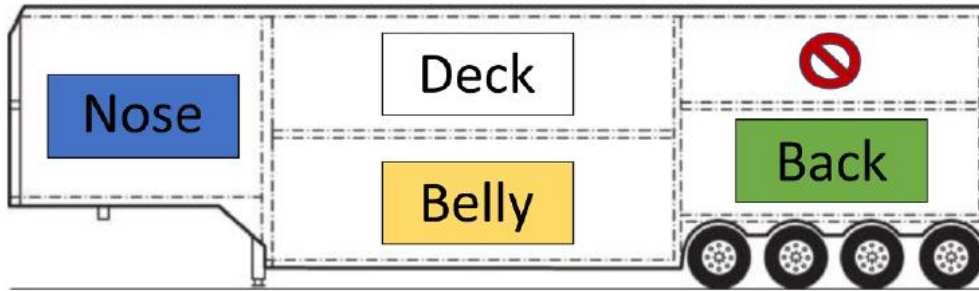


Fig. 1. Distribution of animals in the four compartments of the pot-belly trailer used in our study: Nose, Belly, Back and Deck (draw modified from Schwartzkopf-Genswein and Grandin, 2014).

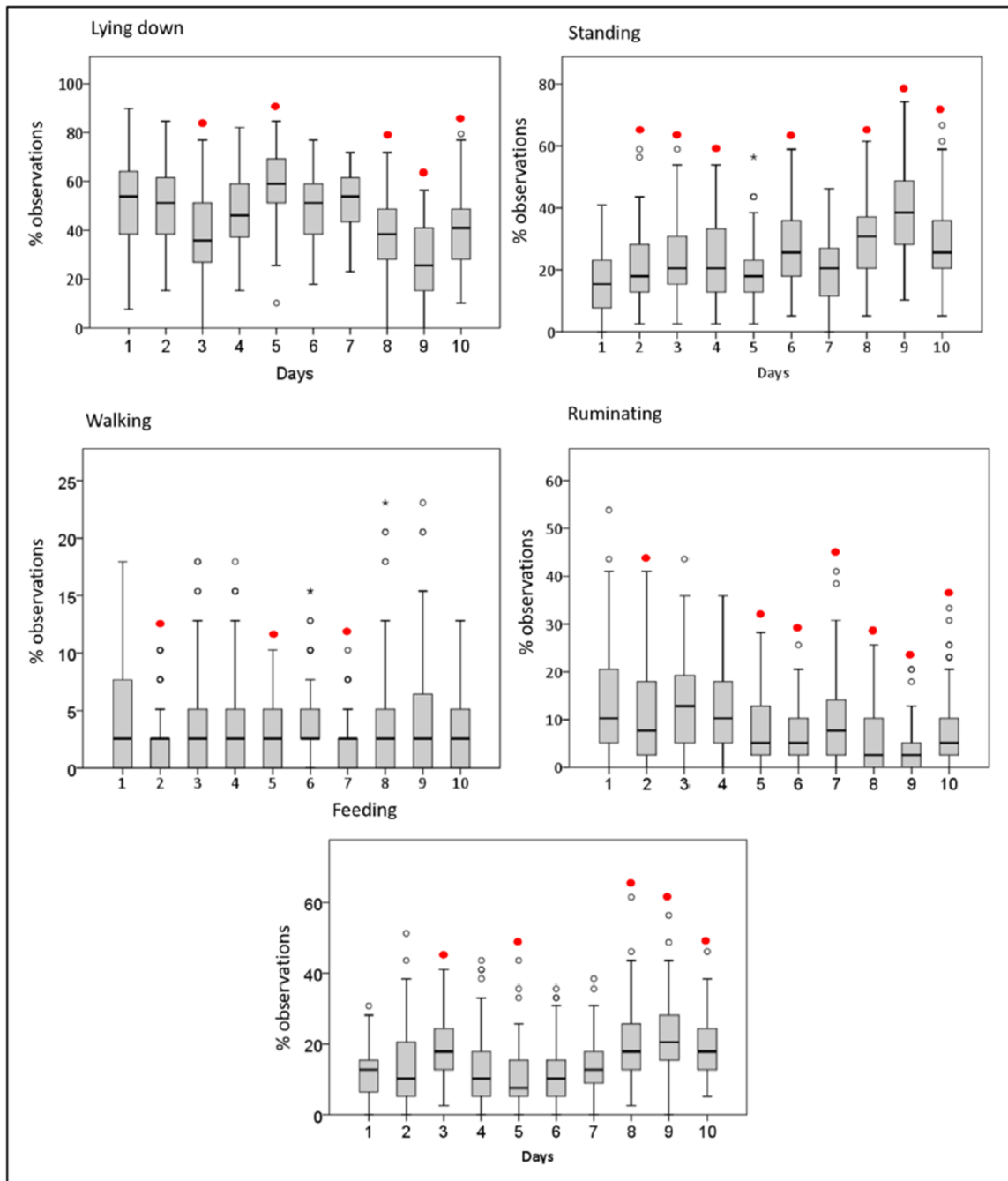


Fig. 2. Development of the percentage of maintenance behaviors/animal during the first day's post-arrival. ● Represents significant differences ($P < 0.05$) between day 1 and days 2-10.

Table 1. Evolution of the post-transport behavioral responses of young bulls during four observation periods (% of daily observations).

Behavior	Observation periods				<i>P</i> **
	Period 11-5 d	Period 26-10 d	Period 351-55 d	Period 456-60 d	
<i>Total (n=104)</i>					
Lying down *	49.2 (11.2) ^a	41.0 (8.5) ^b	48.4 (8.6) ^a	42.0 (7.6) ^b	<0.001
Standing *	20.1 (6.9) ^a	28.8 (7.7) ^b	23.9 (6.9) ^c	29.3 (7.1) ^b	<0.001
Walking **	3.1 (3.0) ^a	3.6 (2.6) ^a	2.6 (2.6) ^b	2.6 (2.1) ^b	0.002
Feeding *	13.6 (5.3) ^a	17.6 (6.1) ^b	10.9 (3.9) ^a	13.1 (5.2) ^a	<0.001
Ruminating *	11.5 (6.7) ^a	6.6 (0.5) ^b	11.7 (5.1) ^a	10.3 (4.7) ^a	<0.001
Drinking **	1.5 (1.5)	1.0 (1)	1.5 (1.5)	1.0 (1.5)	NS
Self-grooming **	0.5 (0.5) ^a	0.5 (1) ^a	0.5 (0.9) ^a	1.0 (1) ^b	<0.001
<i>Nose (n=14) *</i>					
Lying down	51.3 (10.0) ^a	40.8 (14.0) ^b	47.7 (12.7) ^{ab}	40.8 (7.7) ^b	<0.001
Standing	20.3 (12.7) ^a	32.1 (9.4) ^b	24.1 (13.5) ^a	32.8 (8.5) ^b	<0.001
Feeding	9.5 (3.0) ^a	15.9 (4.0) ^b	10.0 (2.1) ^a	12.1 (4.5) ^a	<0.001
Ruminating	10.5 (6.3) ^a	6.4 (5.0) ^b	10.8 (3.8) ^a	9.5 (3.9) ^a	0.003
<i>Belly (n=41)</i>					
Lying down *	45.6 (19.8) ^a	40.5 (13.3) ^b	48.7 (14.4) ^a	41.5 (10.0) ^{ab}	<0.001
Standing *	17.4 (11.3) ^a	27.2 (10.8) ^b	22.6 (13.1) ^a	26.7 (9.0) ^b	<0.001
Walking **	3.6 (2.8) ^a	3.6 (3.1) ^a	2.6 (2.1) ^b	2.6 (2.1) ^b	<0.001
Feeding *	14.1 (5.5) ^a	17.5 (6.9) ^b	11.0 (4.3) ^c	13.4 (5.6) ^a	<0.001
Ruminating *	11.6 (6.8) ^{ac}	7.9 (5.3) ^b	12.0 (4.7) ^a	10.7 (4.9) ^c	<0.001
Self-grooming **	0.5 (0.5) ^a	0.5 (1.0) ^a	1.0 (1) ^b	1.03 (1.0) ^b	<0.001
<i>Deck (n=39)</i>					
Lying down *	47.7 (15.9) ^a	43.1 (9.2) ^b	47.7 (9.7) ^a	41.5 (13.3) ^b	<0.001
Standing *	20.5 (6.7) ^a	28.2 (10.3) ^b	22.6 (8.7) ^c	28.2 (11.3) ^b	<0.001
Feeding *	14.0 (5.4) ^a	18.3 (5.6) ^b	11.0 (4.2) ^c	13.0 (5.3) ^a	<0.001
Ruminating *	11.4 (7.0) ^a	5.4 (4.1) ^b	11.5 (5.8) ^a	10.2 (4.8) ^a	<0.001
Self-grooming **	0.5 (0.5) ^a	0.0 (0.5) ^a	0.5 (1.0) ^b	1.0 (1.0) ^b	<0.001
<i>Back (n=10) *</i>					
Standing	17.2 (6.9) ^a	27.2 (14.4) ^{bc}	22.3 (9.7) ^b	28.2 (15.6) ^c	0.001
Ruminating	13.3 (6.7) ^a	6.2 (5.6) ^b	12.82 (5.7) ^a	10.2 (5.2) ^b	0.001

Significant differences were established at $P < 0.05$ according to the one-way repeated measure analysis of variance. a,b,c, upper letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) between observation periods according to paired sample t-test, and Wilcoxon signed-rank test. Mean. * (SD), ** Median (IQR). NS: non-significant differences.

Table 2. Evolution of the prevalence of health indicators of young bulls during the post-transport observation period (% animals affected).

Health indicators	Observation periods				<i>P</i> **
	Period 11-5 d	Period 26-10 d	Period 351-55 d	Period 456-60 d	
<i>Total (n=104 young bulls)</i>					
<i>Fatigue-injuries</i>					
Muscle tremor	6.73 ^a	7.69 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Apathy	13.46 ^a	10.58 ^a	1.92 ^b	0.00 ^b	<0.001
Lameness	5.77 ^a	3.85 ^a	0.96 ^b	0.00 ^b	0.024
Contusions	1.92	2.88	0.00	0.00	NS
Wounds	3.85	0.00	1.92	0.00	NS
Bruxism	1.92	4.81	8.65	5.77	NS
<i>Gastro-intestinal</i>					
Diarrhea	6.73 ^a	23.08 ^b	13.46 ^c	13.46 ^c	0.004
<i>Respiratory</i>					
Nasal discharge total	19.23 ^a	48.08 ^b	40.38 ^b	42.31 ^b	<0.001
Nasal clear discharge	10.58 ^a	25.96 ^b	18.27 ^a	19.23 ^a	0.030
Nasal turbid discharge	6.73 ^a	28.85 ^b	25 ^b	25.96 ^b	<0.001
Nasal bloody discharge	2.88	2.88	3.85	0.96	NS
Ocular discharge	14.42	9.62	11.54	10.58	NS
Cough	3.85 ^a	17.31 ^b	12.5 ^b	7.69 ^a	0.002
<i>Young bulls that journeyed on the belly (n=41)</i>					
Muscle tremor	2.44 ^{ab}	9.76 ^b	0.00 ^a	0.00 ^a	0.035
Apathy	14.63 ^a	4.88 ^a	2.44 ^a	0.00 ^b	0.026
Diarrhea	2.44 ^a	29.27 ^b	19.51 ^b	14.63 ^{ab}	0.005
Cough	4.88 ^a	24.39 ^b	19.51 ^{ab}	9.76 ^{ab}	0.015
<i>Young bulls that journeyed on the deck (n=39)</i>					
Muscle tremor	12.82 ^a	10.26 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.008
Apathy	10.26 ^a	17.95 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Nasal discharge total	17.95 ^a	56.41 ^b	43.59 ^b	48.72 ^b	0.001
Nasal clear discharge	7.69 ^a	43.59 ^b	28.21 ^b	35.9 ^b	0.002
Cough	2.56 ^a	20.51 ^b	12.82 ^{ab}	5.13 ^{ab}	0.010

*Prevalence of clinical signs was defined as the observation of the sign for at least 1 day within each observation period. ** Significant differences at $P < 0.05$ according to the Cochran Q test. a,b,c, upper letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) between observation periods according to the McNemar test. NS: non-significant differences.

3.3. Health assessment

Table 2 shows the prevalence of clinical signs of disease during the first 60 days on the feedlot, divided into 5 day periods (period 1: 1 to 5 days, period 2: 6 to 10, period 3: 51-55; and period 4: 56 to 60 d). There were significant differences for all variables ($P < 0.05$), except bloody nasal discharge, ocular discharge, bruxism, contusions and wounds ($P > 0.05$). Clear discharges were lower on arrival and in the last two observation periods, while turbid discharges were lower on arrival but increased significantly in the following three consecutive periods. Thus, when summing the three categories of nasal discharges we found the same pattern as described for turbid nasal discharge. Coughing was significantly lower in periods 1 and 4 compared to the two intermediate periods (2 and 3). In the case of muscle tremors, apathy and lameness, their prevalence was always significantly higher in periods 1 and 2, compared to periods 3 and 4. The prevalence of diarrhea was low in period 1, but tripled in period 2 and decreased significantly by 40% for periods 3-4. In the case of compartment effects on the presentation of clinical signs of disease, significant effects were found only for the belly and deck. In the case of the belly, the prevalence between periods was significant ($P < 0.05$) for cough, muscle tremors, diarrhea and apathy; coughing was higher in period 2 (compared to period 1), muscle tremor was higher in period 2 (compared to periods 3 and 4), diarrhea was 8 times and 12 times higher in periods 2 and 3 (respectively) compared to period 1, apathy was higher in the first three periods compared to total absence in period 4. Finally, the trailer deck had significant effects ($P < 0.05$) between periods for total and clear nasal discharge and coughing, muscle tremors and apathy. Total nasal discharge was at least 3 times higher in period 2, 3 and 4, compared to period 1, and a similar pattern was observed for clear nasal discharge. Coughing was 8 times higher in period 2 compared to period 1. Muscle tremor was higher in periods 1 and 2 compared to periods 3 and 4, with not tremors. A similar pattern was observed for the apathy variable.

4. Discussion

Cattle fattening systems are restrictive with respect to key resources such as shade, thermal comfort, feeding space and surface areas compared to pre-grazing or cow-calf systems (Valadez-Noriega et al., 2020). Therefore, for a young bull from grazing systems, a long-distance transport and placement in a restrictive environment such as a feedlot may present a significant challenge to homeostatic and behavioral mechanisms, with high biological costs regarding animal welfare and health (Marchesini et al., 2018). It is widely accepted that the first two months after arrival at the feedlot represent a crucial period for cattle welfare (Noffsinger et al., 2015). Thus, our study documented the evolution of the thermophysiological profile, maintenance behaviors and prevalence of several clinical signs in young bulls during the first 60 days on a feedlot, after being subjected to long-distance winter transport from Southeastern to North-central Mexico. To our knowledge, this is the first study to focus on the consequences of long-distance journeys during the first 60 days in the feedlot. Our results may be useful to minimize the impacts of PTF and BRD, to propose best practices for livestock transport in the country, and other countries with similar production systems and agroecosystems.

4.1. Thermophysiological measurements and weighing

Infrared thermography is a non-invasive diagnostic technique that measures thermal variations in the surface temperature of animals, because it is able to detect the amount of radiated heat caused by changes in blood flow (LokeshBabu et al., 2018). The thermal response of animals to physical restraint in a farm-level chute is an indicator of an individual's threshold of emotional reactivity to a challenge, and can be used as a predictive proxy measure of how animals cope with challenges throughout their lives (Cuthbertson et al., 2020). Based on the hypothesis that long-distance transport and exposure to the novel environment of the feedlot may affect the magnitude of the stress response of animals over the first two months' post-transport, we measured eye temperature of animals on arrival (day 0), at 48 h (day 2) and at 50 days in the feedlot. Our results show that although there are no differences between the sampling days for the animals on arrival and with the two subsequent sampling periods, a significant hypothermia effect was observed for the animals in the trailer belly compartment on arrival, which disappeared in the two subsequent sampling

periods. One possible explanation for this interesting result may be due to stress hypothermia, which occurs when animals are exposed to unavoidable stressors for a prolonged period of time (i.e. such as long-distance transport). Hypothermia may be a passive adaptive response to save energy in a challenging environment (Oka, 2018). Conversely, when animals are exposed to acute stimuli, accentuated and transient stress hyperthermia can occur, which helps to warm up the muscular and central nervous systems, leading to increased physical and cognitive performance to actively cope with a challenge (Lees et al., 2020). Therefore, it is possible to infer that the belly is the compartment that would be most related to the presentation of post-transport fatigue (PTF) which has sequelae in the first two weeks' post-arrival. However, after 50 days in the feedlot the response in the same animals is hyperthermia.

This is consistent with the scientific literature which indicates that animals that have been exposed to repeated or chronic stress show enhanced hyperthermic responses to a new stressor (Oka, 2018). Regarding weight gain, our results show that animals on arrival gained more than 11 kg during the first 48 hours in the feedlot regardless of which compartment of the truck they came from; this increase may be due to a compensatory effect stimulated by the simultaneous offer of feed and fresh water on arrival. In this regard, Schwartzkopf-Genswein et al. (2007) found that animals did not consume enough feed if it was not provided in the presence of water on arrival at the feedlot. Finally, long-distance transport and stalls did not appear to affect weight gain over the first 60 days in the feedlot. A possible explanation for these results may be related to the combined effect of the feedlot reception protocol (vaccination, deworming and growth promoters) and a high-energy diet (Sumano et al., 2021) that could counteract any differences in weight produced by long-distance journey (Werner et al., 2013).

4.2. Behavioral assessment

Upon arrival to a destination after a long-distance transport, normal cattle behavior is altered as cattle recuperate (Van Engen and Coetzee, 2018). Habituation is an important factor that may underlie the behavioral changes observed in feedlots during the weeks following arrival, some of which are of interest for animal welfare monitoring (Toaff-Rosenstein and Tucker, 2018). Our results show that, from their arrival until day 60 on the feedlot, calves dedicated a significant percentage of their

behavioral budgets (in order of importance) to lying down (>40%), standing (>20%), eating (>11%) and ruminating (>11%). There were some important differences in the first five days (50% lying down and 20% standing), but the order of importance remained similar. These results coincide with previous work that suggests that post-transport resting is effective for decreasing cortisol levels, replenishing muscle glycogen concentrations, reducing hunger, dehydration and body weight loss, recovering from physical and emotional stress caused by transport (Knowles et al., 1999). However, the time spent lying down could be proportional to the time needed to reduce post-transport stress and fatigue (Frese et al., 2016). From our results, it seems that 5 days are sufficient to attenuate post-transport stress and fatigue because in the second observation period (6-10 d) calves spend less time lying, accompanied by an abrupt rise in standing, which interestingly coincides with a significant drop in the time budget for rumination. This result has been described in cows which are deprived of lying time and then spent more time standing without ruminating (Cooper et al., 2007). In our case, the second period may be when animals try to recover their normal activity patterns, but it also coincides with an increase in the clinical signs related to disease, especially to BRD. Possibly, as fatigue decreases, chronic problems start with the disruption of certain behaviors related to cattle health. Normally, rumination is specially affected by the amount and duration of the forage fraction of the diet, and sorting behavior, and is positively correlated with dry matter intake (Byskov et al., 2015). In our case, when calves spent more time feeding, rumination decreased significantly. It is possible that a low level of rumination is related to a sub-clinical presentation of BRD, and may be a tool for early detection of the disease, as reported by Marchesini et al. (2018). Another possible explanation is that feeding behavior (more time spent eating) and decreased rumination are caused by the drastic change in diet, much lower in physically effective fiber, as well as by the administration of anabolic hormones (González et al., 2012b; Beauchemin, 2018).

We did not observe substantial significant variation in water consumption between observation periods. The time budget for drinking (<1.5%) was also noticeably lower compared to other behaviors, including eating. Previous studies in slaughterhouses have shown that despite having the opportunity to rehydrate after arrival, calves tend not to increase their drinking time budgets, as the priority is to lie down and explore the pen (Clariget et al., 2021), which is contrary to what Villarroel et

al. (2011) have found for pigs, for example (a preference to rehydrate over resting, after a long journey). Another possible explanation may be that animals drank less since they were unfamiliar with the new environment and distrusted of the water supply and new caretakers, which could lead to increased stress, as seen by Noffsinger et al. (2015). A novel environment will not only decrease water consumption, but also induce diuresis and water losses by inhibiting the renin-angiotensin-aldosterone axis (Hogan et al. 2007). As for self-grooming, we found a significant increase in period 3 compared to the rest of the periods, but it never exceeded 1% of the behavioral budget.

A possible explanation for this result is related to a combination of fatigue (period 1), adaptation to the feedlot (observation periods 1 to 4) and the increased prevalence of clinical signs of BRD in periods 2, 3, and 4. This is because self-grooming behavior tends to decrease in animals with allostatic loads or during the loss of homeostasis, as resources are redirected from behaviors that are not essential in the short term (savings strategy) to the immune response, which is energetically costly (Toaff-Rosenstein and Tucker, 2018). Finally, a compartment effect for maintenance behavioral budgets was observed for all four trailer compartments tested. Our results show that the belly and the deck compartments had more of an effect on behavior, compared to the nose and back. That may be because the belly and deck compartments are more demanding in terms of handling and uncomfortable micro-environmental conditions. These results show that ergonomic limitations in trailer design may have subtle consequences on cattle behavior, However, further studies are needed to mitigate these effects by considering trailer carrying capacity, animal welfare and animal health.

4.3. Health assessment

In general, the clinical signs or health indicators used in this study can be classified as those related to fatigue-injuries, gastrointestinal problems or respiratory issues. Fatigue-injury indicators reflect the immediate impacts of long-distance transport and are especially characterised by lameness, muscle tremors and apathy. Their prevalence was especially concentrated during the first two observation periods and then they decreased or disappeared with time (periods 3 and 4). The development of lameness due to metabolic reasons, accelerated weight gain or low activity has been reported as a prevalent problem in finishing young bulls and can be detected at the

slaughterhouse level (Bautista-Fernández et al., 2021; Losada-Espinosa et al., 2021). Therefore, it would appear that the lameness (contusions and injuries) observed in our study is attributable to accidents during transport and loading/unloading operations (leg entrapment, projection against static objects and falls; Minka and Ayo, 2007; Bautista-Fernández et al., 2021). Transportation prevents cattle from lying down and resting, which can increase PTF and the risk of lameness (Noffsinger et al., 2015). Post-transport fatigue is due to an interaction between the effects of transport and high environmental temperatures that manifests clinically with lameness and lethargy, in addition to high serum lactate and creatine kinase concentrations, lower blood pH and a high incidence of muscle tremors (Schuetze et al., 2015). Although the prevalence of teeth grinding or bruxism was relatively low and not significant between the four observation periods, the prevalence was persistent throughout the study. According to Glerup et al. (2015) bruxism is an important indicator of "gross pain behavior" that should be included in all pain assessment schemes in cattle because it is a sign of intense pain.

Changes in the immune system during long-distance transport are modified mainly by increased levels of circulating corticosteroid hormones, but also by other hormones such as vasopressin and oxytocin (Werner et al., 2013). At the surface level, immunological changes can be observed in clinical signs of acute post-transport disease (Earley et al., 2012). It is important to note that, although the animals in our study were vaccinated within 48 h of arrival at the feedlot (to prevent the presentation of BRD), total nasal discharge (and cloudiness) was highly prevalent from the second observation period onwards, and remained so observation period 4. These results agree with several studies that indicate that the presentation of BRD is not immediate upon arrival, and its signs are evident after the first 5 days post-transport (Earley et al., 2017; Cirone et al., 2019). The prevalence of disease or signs of disease in vaccinated animals may be because calves have immune dysfunction induced by previous stress and natural exposure to the pre-existing viral agent(s), so vaccination at weaning is recommended in cow-calf systems (Richeson et al., 2019). Furthermore, Richeson et al. (2015) found that vaccination (with a vaccine similar to that used in our study) had no immediate effect on morbidity or mortality associated with clinical BRE. Under the conditions of our study there was no evidence of previous vaccinations, so the high prevalence of subclinical BRD may be due to pre-existing infections.

The spatial dimensions of compartments holding cattle during transport are important for their welfare (in the horizontal as well as the vertical plane) and lack of space may lead to several negative welfare consequences such as restriction of movement, resting problems and thermal stress (EFSA, 2022). Recent studies have shown that the belly and deck compartments of pot-belly trailers are more problematic for cattle health (Stanford et al., 2011). Our study corroborates this effect, with belly animals having consequences related to post-transport fatigue (PTF) in the first two observation periods and especially diarrhea in periods 2 and 3. The animals on the deck present consequences of fatigue the first two periods, and a clear and high prevalence in respiratory indicators from the second period onwards, which prevails in periods 3 and 4. A possible explanation for these results is that both compartments are physically demanding for the animals due to their location in the truck and during the journey (i.e. vibration, noise), but they are different in microclimatic terms (Goldhawk et al., 2014).

Thus, the deck exposes the animals to higher wind currents, while the belly has a lower ventilation gradient and can produce dehydration and diarrhea even during winter journeys (Miranda-de la Lama et al., 2018). Similar to heat stress, cold stress is a result of dehydration from increased metabolic demands of heat generation, as respiratory water loss is increased at a higher metabolic demand (Moak, 2021). Our results on compartment effects are novel, although they have their limitations since only two journeys were sampled in a single season and the number of animals tested per compartment was not balanced, so it is important to conduct further research under commercial conditions with the post-arrival health protocol used in this study. Finally, our study emphasizes the importance of implementing preventive medicine practices such as preconditioning in cow-calf systems or pre-calf farms at least a couple of months prior to long-distance journey. Several evidences have pointed out the efficacy of preconditioning calves to reduce post-transport morbidity and mortality (Bailey et al., 2016). However, preconditioning is often not considered profitable by many producers because it does not pay off in terms of live weight gain. Therefore, it is important to promote a culture of preconditioning among beef cattle industry stakeholders, emphasizing that a preconditioned calf will be more suitable for long-distance journeys, increase its chances of survival, have a better adaptation to the feedlot, and save on future treatments (Hilton, 2015).

5. Conclusions

In general, according to the thermophysiological profile, maintenance behaviors and health signs, our study suggest two main effects on the animals after arrival to the feedlot. The first is related to post-transport fatigue (PTF), which seems to dissipate after the first 10 days post-transport, and the second related to respiratory signs of bovine respiratory disease (BRD), starting at 6 days post-transport and persisting at least until day 60. Additionally, the trailer compartments known as the belly and the deck were shown to be problematic for animal welfare, where the transport in the belly was linked to fatigue after transport, while transport in the deck was associated with respiratory problems. Our study emphasizes the importance of promoting calf preconditioning among producers to prepare calves for transport in the two months preceding the journey. In addition, at the time of loading, handlers should consider the effects of the belly and deck compartments and avoid using them for especially vulnerable animals (i.e. poor body condition, lame or symptoms of respiratory disease).

Funding This study was funded by the Mexican National Council for Science and Technology-CONACYT- (Project number *Ciencia B´asica* CB-2015- 259327) in which the principal researcher is F. P´erez-Mart´inez.

Declaration of Competing Interest The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments Thanks are due to CONACyT and National Autonomous University of Mexico (UNAM), for the scholarship of PhD student M. Valadez-Noriega.

References

Baier, F. S., Grandin, T., Engle, T. E., Archibeque, S. L., Wagner, J. J., & Edwards-Callaway, L. N. (2020). Effects of liver abscess presence on stress-related physiological parameters associated with well-being in beef feedlot cattle. *Applied Animal Science*, 36(3), 437-446.

Bailey, E.A., Jaeger, J.R., Schmidt, T.B., Waggoner, J.W., Pacheco, L.A., Thomson, D.U., Olson, K.C., 2016. Effects of number of viral respiratory disease vaccinations during preconditioning on health, performance, and carcass merit of ranch-direct beef calves during receiving and finishing. *Prof. Anim. Sci.* 32 (3), 271–278.

Bautista-Fernández, M., Estévez-Moreno, L. X., Losada-Espinosa, N., Villarroel, M., María, G. A., De Blas, I., & Miranda-de La Lama, G. C. (2021). Claw disorders as iceberg indicators of cattle welfare: Evidence-based on production system, severity, and associations with final muscle pH. *Meat Science*, 177, 108496.

Beauchemin, K.A., 2018. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101 (6), 4762–4784.

Broom, D.M., Kirkden, R.D., 2004. Welfare, stress, behaviour and pathophysiology. *Vet. Pathophysiol.* 337–369.

Byskov, M. V., Nadeau, E., Johansson, B. E. O., & Nørgaard, P. (2015). Variations in automatically recorded rumination time as explained by variations in intake of dietary fractions and milk production, and between-cow variation. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 3926-3937.

Clariget, J., Banchemo, G., Luzardo, S., Fernández, E., Pérez, E., La Manna, A., ... & Canozzi, M. E. A. (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.

Cirone, F., Padalino, B., Tullio, D., Capozza, P., Losurdo, M., Lanave, G., & Pratelli, A. (2019). Prevalence of pathogens related to bovine respiratory disease before and after transportation in beef steers: preliminary results. *Animals*, 9(12), 1093.

Cockram, M. S. (2019). Fitness of animals for transport to slaughter. *The Canadian Veterinary Journal*, 60(4), 423.

Cooper, M. D., Arney, D. R., & Phillips, C. J. C. (2007). Two-or four-hour lying deprivation on the behavior of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 90(3), 1149-1158.

Cuthbertson, H., Tarr, G., Loudon, K., Lomax, S., White, P., McGreevy, P., ... & González, L. A. (2020). Using infrared thermography on farm of origin to predict meat quality and physiological response in cattle (*Bos Taurus*) exposed to transport and marketing. *Meat Science*, 169, 108173.

Earley, B., Murray, M., Prendiville, D. J., Pintado, B., Borque, C., & Canali, E. (2012). The effect of transport by road and sea on physiology, immunity and behaviour of beef cattle. *Research in Veterinary Science*, 92(3), 531-541.

Earley, B., Sporer, K. B., & Gupta, S. (2017). Invited review: Relationship between cattle transport, immunity and respiratory disease. *Animal*, 11(3), 486-492.

Estévez-Moreno X., L., Miranda-de la Lama C., G., Villarroel, M., Garcia, L., Abecia A., J., Santolaria, P., María A., G., 2021. Revisiting cattle temperament in beef cow-calf systems: Insights from farmers' perceptions about an autochthonous breed. *Animals* 11 (82), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ani11010082>.

Frese, D. A., Reinhardt, C. D., Bartle, S. J., Rethorst, D. N., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., ... & Thomson, D. U. (2016). Cattle handling technique can induce fatigued cattle syndrome in cattle not fed a beta adrenergic agonist. *Journal of Animal Science*, 94(2), 581-591.

Gleerup, K. B., Andersen, P. H., Munksgaard, L., & Forkman, B. (2015). Pain evaluation in dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 171, 25-32.

Goldhawk, C., Crowe, T., Janzen, E., González, L. A., Kastelic, J., Pajor, E., & Schwartzkopf-Genswein, K. S. (2014). Trailer microclimate during commercial transportation of feeder cattle and relationship to indicators of cattle welfare. *Journal of Animal Science*, 92(11), 5155-5165.

González, L.A., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Bryan, M., Silasi, R., Brown, F., 2012a. Relationships between transport conditions and welfare outcomes during commercial long-haul transport of cattle in North America. *J. Anim. Sci.* 90 (10), 3640–3651.

González, L.A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Ferret, A., 2012b. Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients,

rumen function and feeding behavior (a review). *Anim. Feed Sci. Technol.* 172 (1-2), 66–79.

Hilton, W.M. (2014). BRD in 2014: where have we been, where are we now, and where do we want to go?. *Animal Health Research Reviews*, 15(2), 120-122.

Hilton, W.M., 2015. Management of preconditioned calves and impacts of preconditioning. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 31 (2), 197–207.

Hogan, J. P., Petherick, J. C., & Phillips, C. J. (2007). The physiological and metabolic impacts on sheep and cattle of feed and water deprivation before and during transport. *Nutrition Research Reviews*, 20(1), 17-28.

Kannan, N., Saleh, A., & Osei, E. (2016). Estimation of energy consumption and greenhouse gas emissions of transportation in beef cattle production. *Energies*, 9(11), 960.

Knowles, G., Warriss, P. D., Brown, S. N., & Edwards, J. E. (1999). Effects on cattle of transportation by road for up to 31 hours. *Veterinary Record*, 145(20), 575-582.

Lees, A. M., Salvin, H. E., Colditz, I., & Lee, C. (2020). The influence of temperament on body temperature response to handling in Angus cattle. *Animals*, 10(1), 172.

LokeshBabu, D. S., Jeyakumar, S., Vasant, P. J., Sathiyabarathi, M., Manimaran, A., Kumaresan, A., ... & Kataktalware, M. A. (2018). Monitoring foot surface temperature using infrared thermal imaging for assessment of hoof health status in cattle: A review. *Journal of Thermal Biology*, 78, 10-21.

Losada-Espinosa, N., Estévez-Moreno, L. X., Bautista-Fernández, M., Galindo, F., Salem, A. Z. M., & Miranda-De la Lama, G. C. (2021). Cattle welfare assessment at the slaughterhouse level: Integrated risk profiles based on the animal's origin, pre-slaughter logistics, and iceberg indicators. *Preventive Veterinary Medicine*, 197, 105513.

Lowie, T., Callens, J., Maris, J., Ribbens, S., & Pardon, B. (2021). Decision tree analysis for pathogen identification based on circumstantial factors in outbreaks of bovine respiratory disease in calves. *Preventive Veterinary Medicine*, 196, 105469.

Marchesini, G., Mottaran, D., Contiero, B., Schiavon, E., Segato, S., Garbin, E., ... & Andrighetto, I. (2018). Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. *The Veterinary Journal*, 231, 41-47.

Minka, N. S., & Ayo, J. O. (2007). Effects of loading behaviour and road transport stress on traumatic injuries in cattle transported by road during the hot-dry season. *Livestock Science*, 107(1), 91-95.

Miranda-De La Lama, G. C., Villarroel, M., & María, G. A. (2014). Livestock transport from the perspective of the pre-slaughter logistic chain: a review. *Meat Science*, 98(1), 9-20.

Miranda-de la Lama, G. C., Rodríguez-Palomares, M., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Pinheiro, R. S. B., Galindo, F. M., & Villarroel, M. (2018). Long-distance transport of hair lambs: Effect of location in pot-belly trailers on thermo-physiology, welfare and meat quality. *Tropical Animal Health and Production*, 50(2), 327-336.

Miranda-de la Lama, G. C., Gonzales-Castro, C. A., Gutierrez-Piña, F. J., Villarroel, M., Maria, G. A., & Estévez-Moreno, L. X. (2020). Welfare of horses from Mexico and the United States of America transported for slaughter in Mexico: Fitness profiles for transport and pre-slaughter logistics. *Preventive Veterinary Medicine*, 180, 105033.

Moak, K. A. T. (2021). Impact of two novel trailer designs on trailer microclimate, animal welfare, and meat quality during short distance transportation of pigs to slaughter under Canadian summer and winter conditions (Doctoral dissertation, University of Guelph).

Nielsen, S.S., Alvarez, J., Bicout, D.J., Calistri, P., Canali, E., Herskin, M., EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), 2022. Welfare of cattle during transport. *EFSA J.* 20 (9), 7442.

Noffsinger, T., Lukasiewicz, K., & Hyder, L. (2015). Feedlot processing and arrival cattle management. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 31(3), 323-340.

Oka, T. (2018). Stress-induced hyperthermia and hypothermia. *Handbook of Clinical Neurology*, 157, 599-621.

Pederson, L., Yates, J., & Wieman, A. (2018). Preparation and response to truck accidents on highways involving cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 34(2), 289-307.

Richeson, J. T., Beck, P. A., Poe, K. D., Gadberry, M. S., Hess, T. W., & Hubbell, D. S. (2015). Effects of administration of a modified-live virus respiratory vaccine and timing of vaccination on health and performance of high-risk beef stocker calves. *The Bovine Practitioner*, 37-42.

Richeson, J. T., Hughes, H. D., Broadway, P. R., & Carroll, J. A. (2019). Vaccination management of beef cattle: delayed vaccination and endotoxin stacking. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 35(3), 575-592.

Richeson, J.T., Hughes, H.D., Broadway, P.R., Carroll, J.A., 2019. Vaccination management of beef cattle: delayed vaccination and endotoxin stacking. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 35 (3), 575–592.

Roberts, S. L., May, N. D., Brauer, C. L., Gentry, W. W., Weiss, C. P., Jennings, J. S., & Richeson, J. T. (2016). Effect of injectable trace mineral administration on health, performance, and vaccine response of newly received feedlot cattle. *The Professional Animal Scientist*, 32(6), 842-848.

Schuetze, S. J., Schwandt, E. F., Maghirang, R. G., & Thomson, D. U. (2017). Transportation of commercial finished cattle and animal welfare considerations. *The Professional Animal Scientist*, 33(5), 509-519.

Schwartzkopf-Genswein, K.S., Booth-McLean, M.E., Shah, M.A., Entz, T., Bach, S.J., Mears, G.J., McAllister, T.A., 2007. Effects of pre-haul management and transport duration on beef calf performance and welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 108 (1-2), 12–30.

Schwartzkopf-Genswein, K., & Grandin, T. (2014). Cattle transport by road. *Livestock handling and transport*. Wallingford, UK: Cabi, 143-173.

Shearer, J., 2021. Optimizing welfare in transport and slaughter of cattle. *Understanding the behaviour and improving the welfare of dairy cattle*. Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 219–249.

Stanford, K., Bryan, M., Peters, J., González, L. A., Stephens, T. P., & Schwartzkopf-Genswein, K. S. (2011). Effects of long-or short-haul transportation of slaughter heifers and cattle liner microclimate on hide contamination with *Escherichia coli* O157. *Journal of Food Protection*, 74(10), 1605-1610.

Sumano, H., Valencia, J.A., Viveros, M., Tapia-Pérez, G., Gutiérrez, L., 2021. Efficacy of an extended-release tilmicosin preparation and tulathromycin in the treatment of bovine respiratory disease. *Vet. Mex.* 7 (4), 1–15.

Timsit, E., Dendukuri, N., Schiller, I., & Buczinski, S. (2016). Diagnostic accuracy of clinical illness for bovine respiratory disease (BRD) diagnosis in beef cattle placed in feedlots: a systematic literature review and hierarchical Bayesian latent-class meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 135, 67-73.

Toaff-Rosenstein, R. L., Gershwin, L. J., Zanella, A. J., & Tucker, C. B. (2016). The sickness response in steers with induced bovine respiratory disease before and after treatment with a non-steroidal anti-inflammatory drug. *Applied Animal Behaviour Science*, 181, 49-62.

Toaff-Rosenstein, R. L., & Tucker, C. B. (2018). The sickness response at and before clinical diagnosis of spontaneous bovine respiratory disease. *Applied Animal Behaviour Science*, 201, 85-92.

Valadez-Noriega, M., Estévez-Moreno, L. X., Rayas-Amor, A. A., Rubio-Lozano, M. S., Galindo, F., & Miranda-de la Lama, G. C. (2018). Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 160, 76-84.

Valadez-Noriega, M., Méndez-Gómez-Humarán, M. C., Rayas-Amor, A. A., Sosa-Ferreyra, C. F., Galindo, F. M., & Miranda-De la Lama, G. C. (2020). Effects of greenhouse roofs on thermal comfort, behavior, health, and finishing performance of commercial zebu steers in cold arid environments. *Journal of Veterinary Behavior*, 35, 54-61.

Van Engen, N.K., and Coetzee, J.F. (2018). Effects of transportation on cattle health and production: a review. *Animal Health Research Reviews* 19, 142–154.

Villarroel, M., Barreiro, P., Kettlewell, P., Farish, M., & Mitchell, M. (2011). Time derivatives in air temperature and enthalpy as non-invasive welfare indicators during long distance animal transport. *Biosystems Engineering*, 110(3), 253-260.

Vogel, K. D., Fabrega Rromans, E., Llonch Obiols, P., & Velarde, V. (2019). Stress physiology of animals during transport. Chapter, 3, 30-57. In: Grandin, T. (Ed.). *Livestock handling and transport*. Cabi.

Weary, D. M., Huzzey, J. M., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2009). Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. *Journal of Animal Science*, 87(2), 770-777.

Werner, M., Hepp, C., Soto, C., Gallardo, P., Bustamante, H., & Gallo, C. (2013). Effects of a long distance transport and subsequent recovery in recently weaned crossbred beef calves in Southern Chile. *Livestock Science*, 152(1), 42-46.

Zhao, H., Tang, X., Wu, M., Li, Q., Yi, X., Liu, S., ... & Sun, X. (2021). Transcriptome characterization of short distance transport stress in beef cattle blood. *Frontiers in genetics*, 12, 124.

4.3. Artículo 3

Publicación:

Journal of Veterinary Behavior

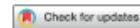
Elsevier

<https://doi.org/10.1016/j.jvbeh.2019.10.012>



Bovine Research

Effects of greenhouse roofs on thermal comfort, behavior, health, and finishing performance of commercial zebu steers in cold arid environments



Marcela Valadez-Noriega^a, María C. Méndez-Gómez-Humarán^b,
Adolfo A. Rayas-Amor^c, Carlos F. Sosa-Ferreira^b, Francisco M. Galindo^a,
Genaro C. Miranda-De la Lama^{c,d,*}

^a Department of Ethology, Wildlife and Laboratory Animals, Faculty of Veterinary Medicine, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico City, Mexico

^b Department of Veterinary Science, Faculty of Natural Sciences, Autonomous University of Queretaro (UAQ), Jariquilla, Queretaro, Mexico

^c Department of Food Sciences, Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), State of México, Mexico

^d Department of Animal Production and Food Science, Agrifood Institute of Aragón-IAG2 (University of Zaragoza and CITA), Zaragoza, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 July 2019

Received in revised form

26 September 2019

Accepted 11 October 2019

Available online 19 October 2019

Keywords:

greenhouse-roofs

thermal comfort

health

behavior

performance

zebu steers

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effects of two housing systems (thermal plastic greenhouse roofs—PGR—vs. without roof—PWR) on health, welfare, and finishing performance of zebu steers in cold arid environments. A total of 880 animals were included in the study; these were divided into two independent studies. For the first study, 260 steers were used (effect on steers' welfare), and for the second study, 620 steers were used (effect on steers' performance). Steers in the PWR treatment showed a trend of standing during 12:00 to 14:59 h, which was considered the hottest period of the day and the steers that were standing showed a trend for feed intake. On the other hand, the steers in the PGR treatment showed a trend of lying down ($P < 0.001$) and ruminating ($P = 0.031$) during the same period of the day; in addition, more steers were drinking in PGR than in PWR treatment. Survival analysis of physical health indicated that the number of healthy steers decreased as the number of days increased; more sick steers were observed in PWR treatment ($P < 0.05$). Finally, steers in PGR achieved different ($P < 0.001$) final body weight (599.7 ± 46.4 kg) compared with steers in PWR treatment (569.0 ± 31.6 kg). The steers in PWR showed higher feed intake ($P < 0.001$); nonetheless, the steers in PGR treatment showed higher average daily gain ($P < 0.001$) and higher feed conversion efficiency ($P < 0.001$). Under the winter conditions where the temperatures fluctuated from a high of 33.9°C to a low of -2.7°C , the use of thermal plastic greenhouse roofs demonstrated an improvement of steers' welfare, health, the average daily gain and feed conversion efficiency.

© 2019 Elsevier Inc. All rights reserved.

Introduction

Cattle feedlot systems can be restrictive with respect to key resources such as shade, thermal comfort, feeding spaces, and dry and comfortable lying surfaces. As a consequence, competition for these resources can have high biological costs that relate to welfare,

health, and productivity (Miranda-de la Lama et al., 2013). The use of open outdoor feedlots on a soil surface for fattening large numbers of cattle is increasing in arid and semiarid regions of the world. Along cold season in semiarid environments, cattle fattening at feedlots are exposed to cold, rainy, and windy conditions (Grandin, 2016). This may cause discomfort because of the great formation and accumulation of mud, and if such conditions are extreme and/or have persistent, it will produce stress in cattle (Webster et al., 2008). Thermal stress events can, directly or indirectly, cause reduced performance, morbidity, and even mortality producing significant economic losses and animal welfare concerns (Fournel et al., 2017). In this context, the roof should normally buffer the extremes of climate conditions, create a microenvironment, which protects the

* Address for reprint requests and correspondence: Genaro C. Miranda-de la Lama, PhD, Faculty of Veterinary, Department of Animal Production and Food Science, University of Zaragoza, Miguel Servet 177, Zaragoza, Spain. Tel.: +34 976 554 150. Fax: +34 976 761 990. E-mail addresses: g.miranda@correo.izca.unizar, genaro@unizar.es (G.C. Miranda-De la Lama).

EFFECTS OF GREENHOUSE ROOFS ON THERMAL COMFORT, BEHAVIOR, HEALTH, AND FINISHING PERFORMANCE OF COMMERCIAL ZEBU STEERS IN COLD ARID ENVIRONMENTS

Marcela Valadez-Noriega^a, María C. Méndez-Gómez-Humarán^b,

Adolfo A. Rayas-Amor^c, Carlos F. Sosa-Ferreira^b, Francisco M. Galindo^a,

Genaro C. Miranda-De la Lama^{c,d,*}

^a Department of Ethology, Wildlife and Laboratory Animals, Faculty of Veterinary Medicine, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Mexico

City, Mexico

^b Department of Veterinary Science, Faculty of Natural Sciences, Autonomous University of Queretaro (UAQ), Juriquilla, Queretaro, Mexico

^c Department of Food Sciences, Metropolitan Autonomous University (UAM-Lerma), State of México, Mexico

^d Department of Animal Production and Food Science, Agrifood Institute of AragonIA2 (University of Zaragoza and CITA), Zaragoza, Spain

Abstract:

The aim of this study was to determine the effects of two housing systems (thermal plastic greenhouse roofs – PGR- vs. without roof - PWR) on health, welfare, and finishing performance of zebu steers in cold arid environments. A total of 880 animals were included in the study; these were divided into two independent studies. For the first study, 260 steers were used (effect on steers' welfare), and for the second study, 620 steers were used (effect on steers' performance). Steers in the PWR treatment showed a trend of standing during 12:00 to 14:59 h, which was considered the hottest period of the day and the steers that were standing showed a trend for feed intake. On the other hand, the steers in the PGR treatment showed a trend of lying

down ($P < 0.001$) and ruminating ($P < 0.031$) during the same period of the day; in addition, more steers were drinking in PGR than in PWR treatment. Survival analysis of physical health indicated that the number of healthy steers decreased as the number of days increased; more sick steers were observed in PWR treatment ($P < 0.05$). Finally, steers in PGR achieved different ($P < 0.001$) final body weight (599.7 ± 46.4 kg) compared with steers in PWR treatment (569.0 ± 31.6 kg). The steers in PWR showed higher feed intake ($P < 0.001$); nonetheless, the steers in PGR treatment showed higher average daily gain ($P < 0.001$) and higher feed conversion efficiency ($P < 0.001$). Under the winter conditions where the temperatures fluctuated from a high of 33.9°C to a low of -2.7°C , the use of thermal plastic greenhouse roofs demonstrated an improvement of steers' welfare, health, the average daily gain and feed conversion efficiency.

Keywords: Greenhouse-roofs, thermal comfort, health, behavior, performance, zebu steers.

Address for reprint requests and correspondence: Genaro C. Miranda-de la Lama, PhD, Faculty of Veterinary, Department of Animal Production and Food Science, University of Zaragoza, Miguel Servet 177, Zaragoza, Spain. Tel.: +34 876 554 150; Fax: +34 976 761 590.

E-mail addresses: g.miranda@correo.ler.uam.mx, genaro@unizar.es

Received 15 July 2019

Received in revised form 26 September 2019

Accepted 11 October 2019

Introduction

Cattle feedlot systems can be restrictive with respect to key resources such as shade, thermal comfort, feeding spaces, and dry and comfortable lying surfaces. As a consequence, competition for these resources can have high biological costs that relate to welfare, health, and productivity (Miranda-de la Lama et al., 2013). The use of open outdoor feedlots on a soil surface for fattening large numbers of cattle is increasing in arid and semiarid regions of the world. Along cold season in semiarid

environments, cattle fattening at feedlots are exposed to cold, rainy, and windy conditions (Grandin, 2016). This may cause discomfort because of the great formation and accumulation of mud, and if such conditions are extreme and/or have persistent, it will produce stress in cattle (Webster et al., 2008). Thermal stress events can, directly or indirectly, cause reduced performance, morbidity, and even mortality producing significant economic losses and animal welfare concerns (Fournel et al., 2017). In this context, the roof should normally buffer the extremes of climate conditions, create a microenvironment, which protects the cattle from stressful environment, and allow efficiency of labor utilization (Kamal et al., 2013). A possible solution for the latter could be the implementation of thermal plastic greenhouse roofs because they have the following advantages: prefabricated light structures, easy transportation with minimum time of installation, low cost of installation and maintenance, easy replacement of spoiled parts, better natural ventilation and lighting, safe sanitary conditions, easy cleaning, esthetical asset, and finally their installation do not require permission from the urban planning sector (Nikitae Martzopoulou, 2007).

Cattle production is one of the most important sectors of Mexican agribusiness because it is the 7th largest producer of beef in the world (18 million heads; USDA, 2018); the exports of live cattle represent the fourth place worldwide and meat exports represent the tenth place (FAO, 2019). In the country, the zebu breeds (Brahman, Red Brahman, Nellore, Guzerat, Indubrazil, Gyr, and Sardo Negro) are maintained as purebred animals but also as crossbred animals with European breeds in beef production systems and dualpurpose systems (Parra-Bracamonte et al., 2015). Beef calves are typically raised on extensive farms located in the southern region of Mexico and Central American countries and remain with their mothers for several months until, after weaning (7 to 12 months), they are transported to feedlots located in the semiarid regions of the country (usually cold/dry summers and cold winters), where the cattle is initiated into more intensively managed husbandry systems (Valadez-Noriega et al., 2018). Beef production practices in Mexico are changing as the demand for exportation of beef increases (Vazquez-Mendoza et al., 2017). Population growth, economic growth, and access to international markets have promoted changes that suggest that more beef suitable for the U.S. market will be produced in Mexico (Peel, et al., 2011). The increase in the U.S. exports of feed and distiller's grain to Mexico, coupled with more domestic course grain use, suggests a shift to more cattle fed in feedlots in

Mexico (Johnson and Hagerman, 2012). More than one-third of North America can be considered arid and semiarid, where they are raised approximately 28 million beef cattle, normally in feedlots (Huntsinger and Starrs, 2006). Feedlots focus on the efficient growth and weight gain of the animals by providing a readily digestible, high-energy diet, reducing the amount of energy expended to find food and managing the cattle to minimize stress and health problems (Caruana, 2019). From this perspective, the establishment of modern feedlots is of paramount importance in developing countries for exporting and to develop a modern Mexican meat industry. A growing tendency in Mexican producers to install PGR at feedlots in arid environments is observed to protect animals of cold and windy conditions during winter and to minimize sun radiation during summer. Despite the importance of this shelter tendency and improvements on beef cattle, studies that actually offer a choice between different types of shelter are rather scarce (Van et al., 2015; Grandin, 2016). A cold and semiarid region of Mexico was chosen for this study because it represents the largest feedlot industry for meat production in the country and a growing tendency in Mexican producers to install thermal plastic greenhouse roofs at feedlots has been observed. In our study, we test the hypothesis that thermal plastic greenhouse roofs improve the welfare and performance of cattle at feedlots. Therefore, the aim of the study was to determine the effects of two housing systems (thermal plastic greenhouse roofs – PGR - vs. without roof - PWR) on thermal comfort, behavior, health, and finishing performance of commercial zebu steers in cold arid environments.

Materials and methods

The study was carried out in a commercial feedlot located in the municipality of Ezequiel Montes (20°31' N, 99°44' W) in the Queretaro State (central Mexico) from October to February fall-winter seasons. The municipality is located at 1978 m above sea level and a mean temperature of 18.5°C (range of -5°C to 27°C). The Köppen climate classification system describes the municipality as cold semiarid climate (BSk), with hot summers and cool winters, and most rainfall occurring in the cooler months (Markus et al., 2006). Long-term annual precipitation in the study area is 555 mm and the soils are mainly dark-brown with regozol and phaeozem. A total of 880 commercial zebu steers (three-quarters zebu mixed with some European breeds- *Bos Taurus*-

particularly Brown Swiss, Holstein, and Simmental) were included in the study; these were divided in two independent studies. For the first study, 260 steers were used (effect of PGR on cattle welfare) and 620 steers for the second study (effect of PGR on steers' performance). All the steers came from grazing systems and the animals were transported in pot-belly trailers (same trucks and same drivers) for 16 hours (more details of Mexican cattle transportation in Valadez-Noriega et al., 2018). After the journey, the animals were unloaded, weighed, dewormed, and received clostridial vaccine, and were then distributed in pens with 62 to 65 steers each.

Study 1: Effects on thermal comfort, welfare, and health

A total of 260 entire commercial zebu steers were used, 24 to 30 months old and an average live weight of 421.74 kg (± 41.14). The steers were randomly allocated in two experimental groups according to two different treatments (Figure 1): pens without roof (PWR) and pens with greenhouse roofs (PGR), every treatment was replicated once (65 animals per pen). Each pen has an approximate size of 600 m² (9.5 m² per steer), besides being equipped with a water bowl, a lying area (bare soil), and a feeding area with concrete floor. In the case of the PGR pens, the roof covering the total of pen and was placed at 7.30 m height (Figure 2). Finishing diet was formulated according to NRC (2000) and contained (g/kg DM) maize straw (200), bakery waste (240), ground corn (430), soybean meal (80), bypass fat (10; Enervit, Zuavit SA de CV, Ecatepec, Mexico), mineral premix (15), buffer (5; containing [mg/kg DM] Na 182, 84 mg), and 6.7 mg/kg of zilpaterol hydrochloride (Zilmax, Intervet; Merck and Co., Inc., Madison, NJ, USA). The chemical composition of the diet was 132 g/kg DM of crude protein, 7 and 3 g/kg DM of calcium and phosphorus, respectively, and 1.9 and 1.29 Mcal/kg DM of net energy for maintenance and body weight gain, respectively. At the end of the trials, the steers were transported to a commercial abattoir located at 250 km and they were slaughtered.

Thermal comfort

To evaluate the risk of heat stress on zebu steers, the air temperature (°C) and relative humidity (%) were recorded hourly during a period of 11 hours per day (08:00 AM to 19:00 PM) by means of automatic data loggers (HOBO Pro v2). The HOBO loggers were placed in the center of the pens in both treatments (1.20 m above ground

level) to record the environmental conditions of the standing steers. The temperature-humidity index (THI) was calculated with the equation developed by Thom (1959): $[(0.8 \times \text{air temperature}) + (\text{relative humidity}/100) \times (\text{air temperature}-14.4) + 46.4]$. The periods were considered thermoneutral when average THI was lower than 70, minor heat stress was considered when THI fall in the range of 70 to 74, heat stress was considered when THI fall in the range of 74 to 77 and severe heat stress when THI was higher than 77 (Davis et al., 2003). The soil surface temperature (SST) and skin temperature (ST) of steers were measured from 09:00 to 18:00 h daily for one week using a compact thermal imaging camera (FLIR i7, 140 _ 140 IR, FLIR Systems®, Figure 3). The SST was measured hourly in five different points within each pen; the ST was measured in 6 animals (3 with dark fur and 3 with light fur) within each pen, always in the rumen side. The respiration rate (RR) was calculated by counting the movements of the flank per minute (breaths/min). The steers that were used for ST recordings were used for the RR evaluation, and the steers that presented some type of nasal discharge or respiratory difficulty during the clinical evaluation were excluded.

Behavior measuring

All steers were individually identified with large cattle ear tag within each pen. Direct observations with scan sampling were carried out to collect information of individual behaviors. Binoculars were used to observe the cattle from a platform at 3.0 m above the ground. The steers were observed during three different periods (period 1 = 08:00 AM to 11:00 AM, period 2 = 12:00 PM to 15:00 PM and period 3 = 16:00 PM to 19:00 PM) giving a total of 55 hours of observations (6 days per pen), always being observed by the same trained observer. Within each period of observation, the scan sampling was used every 15 min to count the number of steers that showed behaviors such as standing (body supported by four limbs), lying down (body on the ground), feeding (steers chewing with the head inside the feeder), ruminating (the steers showed chewing movements and they were distant from the feed), and drinking (the nose over the water source).

Health indicators

The presence or absence, as well as the type, of nasal discharge was used as an indicator to assess physical health problems that could compromise the steers

welfare. The nasal discharge was defined as a clear visible matter from the nostrils, often of thick consistency (Welfare Quality®, 2009). The nasal discharge was observed as a clear nasal discharge when it was transparent and turbid nasal discharge when it was yellow or green. The observer carried out these evaluations in the morning, twice a week, during 10 weeks of the study in all pens. These data were used to generate a survival analysis of Kaplan-Meier.

Study 2: Effects on performance

A total of 620 entire commercial zebu steers were used, 24 to 27 months old and an average of 337.14 kg (± 38.99) body weight. The steers were randomly allocated in two experimental groups according to two different treatments (Figure 1): pens without roof (PWR) and pens with greenhouse roofs (PGR); every treatment was replicated four times (62 animals per pen). The diet and housing conditions were the same as described in study 1. The steers were weighed as a group at the beginning of the study (initial body weight-BW_i) and at the end (final body weight-BW_f); in this study, 134 days were considered for fattening. The steers had access *ad libitum* to the feed and feed refusals were quantified daily at 07:00 AM by the same person; therefore, individual dry matter intake (DMI) was estimated. Feed conversion efficiency (FC) and average daily weight gain (ADG) were estimated at the end of the fattening period. The FC was calculated using the total kilograms gained per steer (FBW [final body weight], IBW [initial body weight]) and divided by total feed intake (FI). The ADG was calculated using the total kilograms gained per steer and divided by 134 days.

The net income per animal in the study was calculated considering hired labor (one worker), initial investment of the steers, annual cost for the greenhouse roofs installation (20% depreciation and amortization rate), and total feed and medicine expenses during the period of the study. Statistical analysis Most of the variables were not normally distributed; therefore, nonparametric tests were used for independent samples. The median was used as a measure of central tendency, the interquartile range as a measure of dispersion, and the Kruskal-Wallis test was used to identified statistical differences ($P < 0.05$) between the treatments, and when differences ($P < 0.05$) were observed, the Mann-Whitney U test was applied (Field, 2009). For variables with normal distribution, the mean was used as a measure of central tendency, the standard deviation (\pm SD) as a measure of dispersion, and the Student's t-test was

used to identify statistical differences ($P < 0.05$). A survival analysis of Kaplan-Meier with a confidence level of 90% was performed to determine significant differences ($P < 0.05$) among the steers that showed nasal discharges. All statistical analyses were carried out using the SPSS Statistics software (Version 22) of IBM®.

Results

The feedlots were exposed in winter season to extreme temperatures fluctuated from a high of 33.9°C to a low of -2.7°C. Table 1 shows temperature indicators during the study and the temperature was significantly lower in the PWR treatment between 19:00 PM to 8:59 AM.

Study 1: Effects on thermal comfort, welfare, and health

The average temperature, the relative humidity, and THI are shown in Table 2. The average temperature for PGR treatment was 34.02°C and for PWR treatment, 37.67°C; no significant differences were observed between treatments ($P=0.276$) during the period of fattening. The steers were under thermoneutral zone (67% of the time during the evaluation period) and exposed to mild heat stress (25%), heat stress (7%), and severe heat stress (1%). Nevertheless, 72% of severe heat stress cases were observed in the PWR treatment. Soil surface temperature in both resting and feeding areas of PWR treatment (30.4±9.7°C and 29.8±8.3°C, respectively) were higher ($P < 0.006$) than in PGR treatment (27.5±5.4°C and 25.8±5.0°C, respectively), and temperatures up to 56.3°C were measured in the ground for the latter treatment. The steers in the PWR treatment showed a trend of standing during period 2 (12:00 to 14:59 h), which was considered the hottest period of the day (Table 3) and the steers that were standing showed a trend for FI. On the other hand, the steers in the PGR treatment showed a trend of lying down ($P < 0.001$) and ruminating ($P=0.031$) during the same period of the day; In addition, more steers were drinking water in PGR than in PWR treatment. No significant differences ($P = 0.925$) were observed between treatments in both skin temperature and RR variables; however, higher temperature and RR were recorded in dark fur (36.09±4.45°C and 40.24±13.92 breath/min, respectively) than in light fur (34.75±3.2°C and 36.76±11.09 breath/min, respectively), and these were significantly different ($P < 0.003$). Survival analysis of physical health indicated that the number of healthy steers decreased as the number of days

increased; more sick steers were observed in PWR treatment ($P < 0.05$) (Figure 4). No significant differences ($P > 0.05$) were observed in turbid nasal discharges.

Study 2: Effects on performance

The steers in PGR achieved higher ($P < 0.001$) final body weight (590.60 ± 36.80 kg) than steers in PWR (582.06 ± 21.97 kg) although they had lower initial body weight (Table 4). The steers in PWR showed higher FI ($P < 0.001$); nonetheless, the steers in PGR treatment showed higher average daily gain ($P < 0.001$) and higher FC ($P < 0.001$). In terms of economic return, higher profits were obtained in PGR (USD \$17,797.10) than in PWR treatment.

Discussion

Our study has shown that the use of greenhouse roofs in feedlots in semiarid areas has a beneficial effect on the health, welfare, and productivity of zebu cattle. However, it is important to note that these effects are due to the specific greenhouse roof shown in Figures 1c, 1d, and 2. It is possible that roofs of different design and at lower heights above the ground (5.2 m) will have different effects than those found in this study. Worldwide, the research has focused on the study of extreme temperature stress in dairy cattle due to a quick decrease in milk production has been observed (Hahn, 1999; West, 2003; Schütz et al., 2010a). In the United States of America, it has been observed that heat stress in livestock can be devastating, causing a decrease in yield and livestock death (Hubbard et al., 1999; Mader, 2014).

Little has been studied about cold stress that also affects the health, welfare, and production of animals. It is usually quantified by the wind chill index, originally developed to assess the risk of hypothermia, and freezing in humans (Environment Canada, 2013). For cattle, wind chill index has not yet been scientifically validated and it is only possible to compare the values of “lower critical temperatures” and to get an approximation of the potential effect of low temperatures on the comfort and physiology of this species (Van et al., 2014). *Bos indicus* or zebu cattle are native to South and Southeast Asia, regions with a tropical climate. The main adaptive characteristics of these animals include the presence of hump, abundant and pleated skin, pigmentation, and shorter and thinner hair compared with *Bos taurus* (Pérez O’Brien et al., 2015). In the case of zebu cattle, the same characteristics that give greater thermotolerance to

heat stress can result in a lower resistance to cold and dry environments. Therefore, our study is one of the first to analyze the effects of PGR treatment on thermal comfort, behavior, health, and performance of zebu steers under commercial conditions during a cold season.

Study 1: Effects on thermal comfort, welfare, and health

In general, it has been mentioned that cattle are more efficient and perform better when temperatures are kept within the thermal comfort zone between 5°C and 20°C (Hahn, 1999). In this study, the minimum and maximum temperatures recorded were -2.63°C and 35.05°C, respectively, which showed a remarkable variation with temperatures recorded 3 years ago and the recorded temperature during the study was outside of the thermal comfort range for cattle. Extreme temperature changes between day and night are common in cold semiarid climates, sometimes up to 20°C or even more. The season in which the study was conducted (winter), could be related to the low number of steers with severe heat stress, moderate heat stress, and heat stress according to the temperature and THI (Davis et al., 2003).

No significant differences were observed between both treatments in terms of THI; however, the steers in PWR showed severe heat stress during longer time. The existence of steers with severe heat stress in winter suggests the possibility of an increase in these cases during the summer season; therefore, some additional shelter that prevents direct solar radiation is advisable to improve the thermal comfort of steers (Brown-Brandl et al., 2005); for example, a shade cloth mesh is a very affordable way to protect from ultraviolet rays and to offer a cooler environment (10° to 20°C lower). In the SST measurements, the highest temperatures were recorded at the feeding and resting area in the PWR treatment during 12:00 PM to 14:59 PM, which could explain the behavior of steers standing longer time (Table 3). Gu et al. (2016) reported a similar behavior with buffalos, and according to Curtis (1983), Rovira (2014), and Kendall et al. (2006), a greater number of standing steers could be due to their attempts to increase the body surface exposed to the environment, which would facilitate the regulation of their temperature through a greater flow of air over their body. The steers spent longer time lying down when the soil surface was protected by the PGR that reduced direct solar radiation on the ground and decreased the heat gain by conduction and radiation (Hansen, 2004).

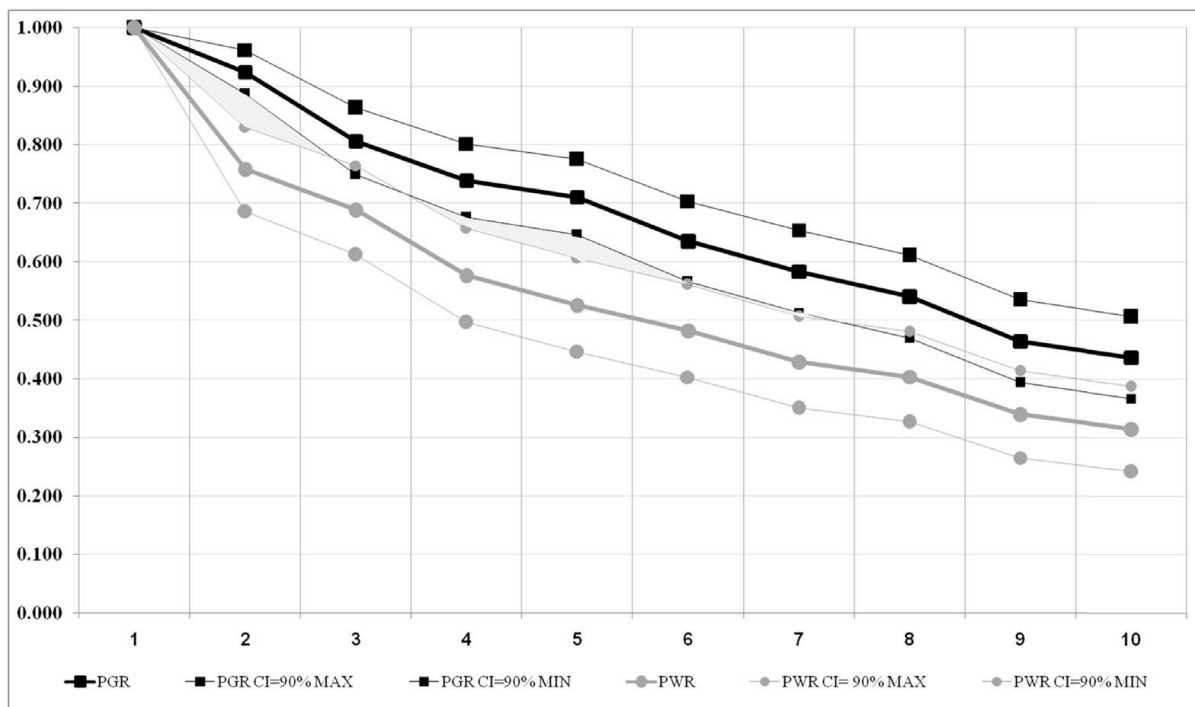


Figure 4. Cumulative survival curve of Kaplan-Meier, steers with clear nasal discharge (CND) during ten weeks of fattening (CI=90%) evaluated in PGR treatment and PWR treatment. Gray shaded area indicates significant differences between treatments ($P \leq 0.05$). PGR, pen with thermal plastic greenhouse roof; PWR, pen without thermal plastic greenhouse roof.

According to EFSA (2004), a microclimate is a term used to describe the “internal” climate that animals are experiencing during the day or night (heat, humidity, gas concentration, and air quality). Owing to the microclimate that generated the PGR, a greater thermal comfort was evident in the PGR treatment (greater number of steers laying down and ruminating) which resulted in higher FC efficiency in study 2. During the study, it was observed that PGR in the feedlots had a positive effect because they worked as a barrier against the wind and minimized the temperature fluctuation between day and night. It is important to mention that farmers use the PGR treatment because it reduces the respiratory illnesses and livestock deaths. According to Schütz et al. (2010b) and Van et al. (2014), when heat loss by convection (wind chill) and exposure to precipitation are combined, cold stress can arise; therefore, the steers in the PGR treatment showed low nasal discharges. The number of animals with clear nasal discharge and turbid nasal discharge was evidently higher in PWR treatment,

which caused a greater investment in medicines and therefore lowers utility per animal. It is possible that nasal discharges are related to bovine respiratory disease. Beef cattle of all ages can be affected with this disease; however, they are most likely to be affected during the 40 days after entrance into the feedlot because they are exposed to a wide range of pathogens (due to commingling) concurrent with various stressors (e.g., transportation and social mixing), which can suppress their immune system (Timsit et al., 2016). In this context, the PGR roofs of our study are an investment that can help to reduce the prevalence of respiratory diseases of calves during fattening. In addition to economic costs, outbreaks of bovine respiratory disease impair the welfare of the animal and extra expertise and labor are needed to treat and care the infected animals.

The infrared thermography is a noninvasive diagnostic technique used as an indicator of thermal biometric variations in surface temperature of animals with precision without the need for physical contact with the animals (Lokesh-Babu et al., 2018). The skin surface is a highly efficient radiator, a fact that permits to detect infrared emissions of the skin and to map temperature distributions (Salles al., 2016). Under the conditions of this study, we did not find differences between the treatments in both skin temperature and RR variables; however, higher temperature and RR were recorded in dark fur animals than in light fur and these were significantly different. In a study with Angus cattle, Mader et al. (2006) found an effect similar to that of our study, where black-haired animals had a higher skin surface temperature than red-haired animals. A possible explanation could be related to dark animals associated with solar radiation absorption by the dark pigment while light-pigmented animals reflected more and absorbed less solar radiation (Katiyatiya et al., 2017).

Study 2: Effects on performance

The steers in PGR treatment had low exposure to solar radiation and therefore stable temperatures throughout the fattening period could favor the ADG; similar results were obtained by Rovira and Velazco (2011). However, these steers showed lower DMI than steer in PWR treatment. Probably this could be explained by SST because it was higher in PWR treatment; therefore, the steers showed a high standing-eating behavior and low ruminating behavior. Although steer in PWR treatment had higher DMI, the ADG and FC efficiency was lower than steers in PGR treatment which

could be explained by the THI because according to Hahn (1999) and EFSA (2004), the temperature range in which the animals do not need to spend additional energy to maintain body temperature and homeostasis is 0°C to 28°C. In Mexico, economic development of the country affects the application of modern technologies, and therefore, differences fattening systems exist in the country. On feedlots, high investment costs and lack of capital investment may delay the modernization of facilities (Van et al., 2015). Despite subtracting the annual investment cost for the greenhouse roofs installation, a profit of US\$57.41 per steer in the PGR (a total of US\$17,797.10), compared with the steers in PWR treatment, was obtained. Nonetheless, other factors that were not evaluated in our study such as an “investment payback period” need to be included. The ethical principle should include the improvements in the conditions of welfare in which cattle are fattened at feedlots; however, it is clear that farmers will not put their income at risk. Our study has shown that it is possible to substantially improve housing and to provide better conditions for animals to be thermally protected which in turn increases the efficiency and enhances the profitability of the farmer.

Conclusions

Under the winter conditions, the use of thermal plastic greenhouse roofs demonstrated an improvement of steers' welfare, health, the average daily gain, and feed conversion efficiency. As it was observed in this study, farmers in the area reported that providing shadow to the cattle reduced FI; however, the greenhouse roof in this study generated a microclimate that protected to the steers against cold, rain, wind, solar radiation, and extreme temperature variation which offered greater comfort to the steers resulting in a superior average daily weight gain and feed conversion efficiency. The design and installation of these thermal plastic greenhouse roofs should be carefully planned for each feedlot and adapted to each terrain because the height should allow the proper ventilation and minimize the ammonia accumulation and excessive heat in the summer season, as well as damage to the structure caused by strong wind currents and hail.

Acknowledgments

Many thanks to the CONACyT and National Autonomous University of Mexico (UNAM), for the Scholarship of Marcela Valadez-Noriega in the Ph.D. Program. This study was funded partially by the Mexican National Council for Science and Technology-CONACYT (Project number *Ciencia Basica* CB-2015-259327) in which the principal researcher is G.C. Miranda-de la Lama.

Ethical considerations

This study was approved by the Institutional Animal Ethics Committee for the Care and Animal Use (CICUAE) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM).

Conflict of interests

The authors declared that they have no conflicts of interest with respect to their authorship and/or the publication of this article.

References

Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Eigenberg, R.A., 2005. Heat Stress Risk Factors for Feedlot Heifers. in Proc. Seventh International Livestock Environment Symposium (American society of agricultural engineers), St. Joseph, MI, pp. 559-565.

Caruana, M.E.C., 2019. Organizational and economic modeling of an anaerobic digestion system to treat cattle manure and produce electrical energy in Argentina's feedlot sector. *J. Clean. Prod.* 208, 1613e1621.

Curtis, S.E., 1983. *Environmental Management in Animal Agriculture*. Iowa State Univ. Press, Ames. Davis, M.S., Mader, T.L., Holt, S.M., Parkhurst, A.M., 2003. Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: effects on tympanic temperature. *J. Anim. Sci.* 81, 649-661.

EFSA, 2004. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to the Standards for the microclimate inside animal road transport vehicles. *EFSA J* 122, 1-25.

Environment Canada, 2013. Wind chill: the chilling facts. Available at: <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=5FBF816A-1>. Accessed February 20, 2019.

FAO, 2019. Meat market review, March 2019. Rome. <http://www.fao.org/3/ca3880en/ca3880en.pdf>. Accessed July 2019.

Field, A., 2009. *Discovering Statistics Using SPSS*, 3rd ed. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.

Fournel, S., Rousseau, A.N., Laberge, B., 2017. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. *Biosyst Eng* 155, 96-123.

Grandin, T., 2016. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Vet. Anim. Sci.* 1, 23-28.

Gu, Z., Yang, S., Leng, J., Xu, S., Tang, S., Liu, C., Mao, H., 2016. Impacts of shade on physiological and behavioural pattern of Dehong buffalo calves under high temperature. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 177, 1-5.

Hahn, G.L., 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77, 10-20.

Hansen, P.H., 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* 82, 349-360.

Hubbard, K.G., Stooksbury, D.E., Hahn, G.L., Mader, T.L., 1999. A climatological perspective on feedlot cattle performance and mortality related to the temperature-humidity index. *J. Prod. Agric.* 12, 650-653.

Huntsinger, L., Starrs, P.F., 2006. Grazing in arid North America: a biogeographical approach. *Sécheresse* 17, 219-233.

Johnson, R., Hagerman, A., 2012. Mexico's Emerging Role as an Exporter of Beef to the US. Available at: <http://www.thebeefsite.com/articles/3053/mexicosemerging-role-as-an-exporter-of-beef-to-the-us>. Accessed June 12, 2019.

Kamal, R., Dutt, T., Patel, B.H.M., Ram, R.P., Biswas, P., Bharti, P.K., Kaswan, S., 2013. Effect of roofing materials on micro-climate in loose house for animals during rainy season. *Vet. World.* 6, 482-485.

Katiyatiya, C.L.F., Bradley, G., Muchenje, V., 2017. Thermotolerance, health profile and cellular expression of HSP90AB1 in Nguni and Boran cows raised on natural pastures under tropical conditions. *J. Therm. Biol.* 69, 85-94.

Kendall, P.E., Nielsen, P.P., Webster, J.R., Verkerk, G.A., Littlejohn, R.P., Matthews, L.R., 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livest. Sci.* 103, 148-157.

Lokesh-Babu, D.S., Jeyakumar, S., Vasant, P.J., Sathiyabarathi, M., Manimaran, A., Kumaresan, A., Kataktaaware, M.A., 2018. Monitoring foot surface temperature using infrared thermal imaging for assessment of hoof health status in cattle: a review. *J. Therm. Biol.* 78, 10-21.

Markus, K., Jürgen, G., Christoph, B., Bruno, R., Franz, R., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259-263.

Mader, T.L., 2014. Bill E. Kunkle Interdisciplinary Beef Symposium: animal welfare concerns for cattle exposed to adverse environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 92 (12), 5319-5324.

Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T., 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84 (3), 712-719.

Miranda-De La Lama, G.C., Pascual-Alonso, M., Guerrero, A., Alberti, P., Alierta, S., Sans, P., Gajan, J.P., Villarroel, M., Dalmau, A., Velarde, A., Campo, M.M., Galindo, F., Santolaria, M.P., Sañudo, C., María, G.A., 2013. Influence of social dominance on production, welfare and the quality of meat from beef bulls. *Meat Sci.* 94 (4), 432-437.

NikitaeMartzopoulou, C., 2007. New Trends in Animal Housing in Greece: Greenhouse Type Livestock Buildings. CIGR Workshop "Animal Housing in Hot Climate", Cairo, Egypt, April 1-4.

Parra-Bracamonte, G.M., Martínez-González, J.C., Sifuentes-Rincón, A.M., Moreno-Medina, V.R., Ortega-Rivas, E., 2015. Meat tenderness genetic polymorphisms occurrence and distribution in five Zebu breeds in Mexico. *Electron. J. Biotechn.* 18 (5), 365-367.

Peel, D.S., Mathews, K.H., Johnson, R.J., 2011. Trade, the Expanding Mexican Beef Industry, and Feedlot and Stocker Cattle Production in Mexico. United States Department of Agriculture Economic Research Service Report LDP-M-206, 1, 24.

Perez O'Brien, A.M., Höller, D., Boison, S.A., Milanese, M., Bomba, L., Utsunomiya, Y.T., Carneiro, R., Neves, H.H.R., Silva, M.V.B., Van Tassell, C.P., Sonstegard, T.S., Mészáros, G., Ajmone-Marsan, P., Garcia, F., Sölkner, J., 2015. Low levels of taurine introgression in the current Brazilian Nelore and Gir indicine cattle populations. *Genet. Sel. Evol.* 47, 1-7.

Rovira, P., 2014. The effect of type of shade on physiology, behaviour and performance of grazing steers. *Animal* 8 (3), 470-476.

Rovira, P.J., Velazco, J., 2011. The effect of free or restricted access to artificial shade on respiration rate, behaviour and performance of grazing steers. *Online J. Anim. Feed. Res.* 1, 293-298.

Salles, M.S.V., da Silva, S.C., Salles, F.A., Roma Jr., L.C., El Faro, L., Mac Lean, P.A.B., Martello, L.S., 2016. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *J. Therm. Biol.* 62, 63-69.

Schütz, K.E., Rogers, A.R., Poulouin, Y.A., Cox, N.R., Tucker, C.B., 2010a. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93, 125-133.

Schütz, K.E., Clark, K.V., Cox, N.R., Matthews, L.R., Tucker, C.B., 2010b. Responses to short-term exposure to simulated rain and wind by dairy cattle: time budgets, shelter use, body temperature and feed intake. *Anim. Welf.* 19, 375-383.

Thom, E.C., 1959. The Discomfort Index, 12. *Weatherwise*, pp. 57-59. Washington

Timsit, E., Workentine, M., Schryvers, A.B., Holman, D.B., van der Meer, F., Alexander, T.W., 2016. Evolution of the nasopharyngeal microbiota of beef cattle from weaning to 40 days after arrival at a feedlot. *Vet. Microbiol.* 187, 75-81.

Welfare Quality_, 2009. Welfare Quality Assessment Protocol for Cattle. Consortium, Lelystad, Netherlands.

United States Department of Agriculture, USDA, 2018. Livestock and poultry: world markets and trade. Available at: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Accessed February 19, 2019.

Valadez-Noriega, M., Estévez-Moreno, L.X., Rayas-Amor, A.A., Rubio-Lozano, M.S., Galindo, F., Miranda-de la Lama, G.C., 2018. Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey. *Prev. Vet. Med.* 160, 76-84.

Van, L.E., Henri, M.C.P., Sonck, B., Tuytens, F.A., 2014. Importance of outdoors shelter for cattle in temperate climates. *Livest. Sci* 159, 87-101.

Van, L.E., Ampe, B., Moons, C., Sonck, B., Tuytens, F.A., 2015. Wintertime use of natural versus artificial shelter by cattle in nature reserves in temperate areas. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 163, 39-49.

Vazquez-Mendoza, O.V., Aranda-Osorio, G., Huerta-Bravo, M., Kholif, A.E., Elghandour, M.M.Y., Salem, A.Z.M., Maldonado-Simán, E., 2017. Carcass and meat properties of six genotypes of young bulls finished under feedlot tropical conditions of Mexico. *Anim. Prod. Sci.* 57, 1186-1192.

Webster, J.R., Stewart, M., Rogers, A.R., Verkerk, G.A., 2008. Assessment of welfare from physiological and behavioural responses of New Zealand dairy cows exposed to cold and wet conditions. *Anim. Welf.* 17, 19-26.

West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 2131-2144.

Table 1. Recorded temperature in different periods of the day (n=3100 hours) during the fattening period.

<i>Period</i>	<i>Hour</i>	<i>PGR treatment</i> <i>Median (\pmIQR)</i>	<i>PWR treatment</i> <i>Median (\pmIQR)</i>	<i>P-value</i>
*1	00:00 – 08:59	11.27 \pm 5.6 ^a	9.95 \pm 5.7 ^b	<0.001
2	09:00 – 09:59	11.49 \pm 6.7 ^a	11.27 \pm 7.0 ^a	NS
3	10:00 – 10:59	15.44 \pm 5.3 ^a	16.32 \pm 6.1 ^a	NS
4	11:00 – 11:59	19.75 \pm 4.3 ^a	20.60 \pm 4.8 ^b	0.036
5	12:00 – 12:59	22.68 \pm 4.3 ^a	23.04 \pm 4.3 ^a	NS
6	13:00 – 13:59	25.11 \pm 4.8 ^a	24.56 \pm 4.5 ^b	0.031
*7	14:00 – 16:59	26.42 \pm 5.1 ^a	25.96 \pm 5.4 ^a	NS
8	17:00 – 17:59	24.56 \pm 5.2 ^a	25.87 \pm 5.9 ^b	0.040
9	18:00 – 18:59	23.16 \pm 4.7 ^a	23.67 \pm 4.8 ^a	NS
10	19:00 – 19:59	20.27 \pm 3.5 ^a	19.46 \pm 4.1 ^b	0.013
11	20:00 – 20:59	18.41 \pm 3.0 ^a	17.03 \pm 3.9 ^b	<0.001
12	21:00 – 21:59	16.75 \pm 3.6 ^a	15.44 \pm 3.9 ^b	<0.001
13	22:00 – 22:59	15.58 \pm 3.6 ^a	13.88 \pm 4.0 ^b	<0.001
14	23:00 – 23:59	14.27 \pm 4.4 ^a	12.90 \pm 4.3 ^b	<0.001

PGR: pens with thermal plastic greenhouse roof; PWR: pens without thermal plastic greenhouse roof; ^{ab}: Different letters at the same row indicate significant differences within treatments (P \leq 0.05).

Table 2. Average and standard deviation (SD) values for climatic conditions recorded during the fattening period (n=3100 hours)

<i>Variable</i>	<i>PGR treatment</i>			<i>PWR treatment</i>		
	<i>Mean (±SD)</i>			<i>Mean (±SD)</i>		
	<i>Average</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Average</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Air temperature, °C	17.2±6.5	-1.4	32.7	16.4±7.1	-2.63	35.1
Relative Humidity, %	65.0±21	18.0	96.7	66.8±25	12.5	100
THI	60.7±8.7	32.1	78.0	59.4±9.7	28.2	82.8

THI (Temperature-Humidity Index) =: [(0.8 x temperature) + (relative humidity/100) x temperature -14.4) + 46.4]

Table 3. Percentage of animals showing a particular behavior during three periods of observation.

<i>Period</i>	<i>Behaviour Pattern</i>	<i>PGR treatment</i>	<i>PWR treatment</i>	<i>P-value</i>
		<i>Median (±IQR)</i>	<i>Median (±IQR)</i>	
	<i>Standing</i>			
1	08:00 – 10:59	83.2 _± 34.2 ^a	60.0 _± 47.0 ^b	<0.001
2	12:00 – 14:59	38.7 _± 15.6 ^a	44.8 _± 31.8 ^b	<0.001
3	16:00 – 18:59	82.2 _± 38.6 ^a	81.8 _± 26.7 ^a	NS
	<i>Lying down</i>			
1	08:00 – 10:59	16.8 _± 34.3 ^a	40.0 _± 47.0 ^b	<0.001
2	12:00 – 14:59	61.3 _± 15.5 ^a	55.2 _± 31.8 ^b	<0.001
3	16:00 – 18:59	17.8 _± 38.6 ^a	24.7 _± 9.7 ^a	NS
	<i>Feeding</i>			
1	08:00 – 10:59	10.7 _± 22.0 ^a	11.40 _± 8.5 ^a	NS
2	12:00 – 14:59	14.8 _± 9.4 ^a	24.8 _± 15.8 ^b	<0.001
3	16:00 – 18:59	25.7 _± 11.6 ^a	24.7 _± 9.7 ^a	NS
	<i>Ruminating</i>			
1	08:00 – 10:59	10.0 _± 10.6 ^a	8.63 _± 7.80 ^a	NS
2	12:00 – 14:59	8.3 _± 5.3 ^a	6.6 _± 5.6 ^b	0.031
3	16:00 – 18:59	4.4 _± 7.0 ^a	2.8 _± 4.4 ^a	NS
	<i>Drinking</i>			
1	08:00 – 10:59	1.8 _± 1.6 ^a	0.0 _± 2.2 ^b	<0.001
2	12:00 – 14:59	2.1 _± 1.7 ^a	1.4 _± 2.3 ^b	0.002
3	16:00 – 18:59	1.5 _± 1.5 ^a	1.4 _± 1.8 ^b	<0.001

IQR: Interquartile range; NS: no significant differences ($P \geq 0.05$).

^{ab}: Different letters at the same row indicate significant differences within treatments ($P \leq 0.05$).

Table 4. Performance of the steers during the fattening period (134 days).

<i>Variable</i>	<i>PGR mean (\pmSD)</i>	<i>PWR mean (\pmSD)</i>	<i>P-value</i>
BW _i (kg)	331.4 \pm 48.7 ^a	334.9 \pm 19.7 ^a	NS
BW _f (kg)	590.6 \pm 36.8 ^a	582.1 \pm 22.0 ^b	<0.001
ADG (kg)	1.9 \pm 0.1 ^a	1.8 \pm 0.1 ^b	<0.001
DMI (kg)	13.4 \pm 1.3 ^a	14.5 \pm 0.8 ^b	<0.001
FC	6.9 \pm 0.9 ^a	7.9 \pm 0.4 ^b	<0.001
Profit per steer (USD)	250.6 \pm 56.1 ^a	193.2 \pm 45.9 ^b	<0.001

NS, no significant differences ($P > 0.05$); BW_i, initial body weight; BW_f, final body weight; ADG, average daily gain; DMI, dry matter intake; FC, feed conversion efficiency; USD, American dollar.

ab Different letters at the same row means significant difference of treatments ($P < 0.05$).

c P values correspond to Student's t-test.

Figure. 1. The two treatments tested in the study: PWR treatment (a and b) and PGR animals (c and d). PGR, pen with thermal plastic greenhouse roof; PWR, pen without thermal plastic greenhouse roof.

a)



b)



c)



d)

Figure. 2. Plastic greenhouse roof of feedlots located in a semiarid region in Mexico.

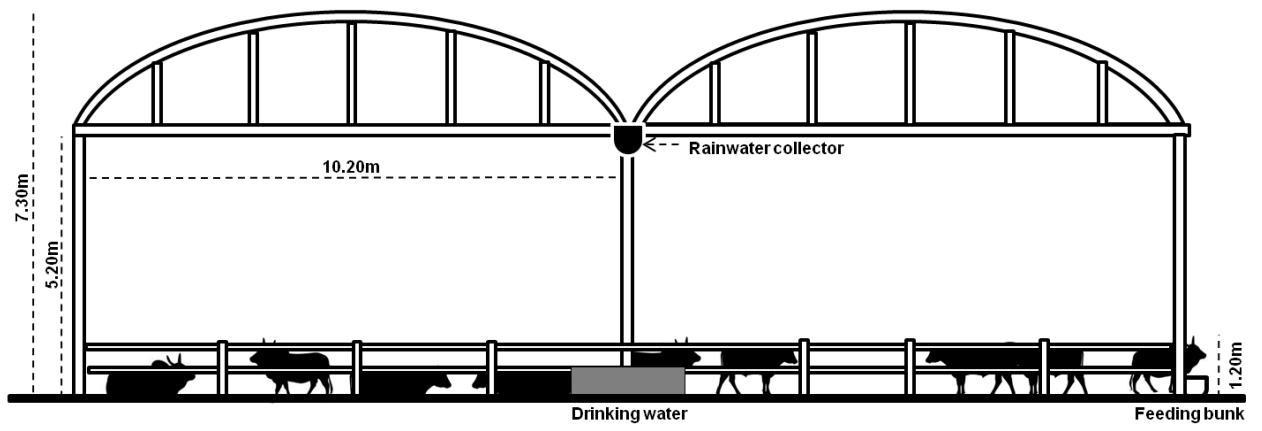


Figure 3. Thermal image of soil surface temperature and skin temperature. (A) PGR treatment, (B) PWR treatment. PGR, pen with thermal plastic greenhouse roof; PWR, pen without thermal plastic greenhouse roof.

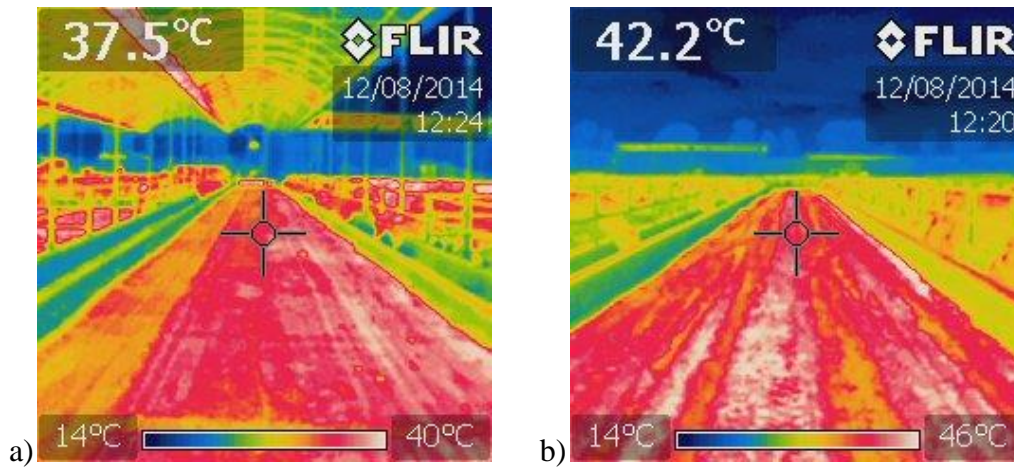
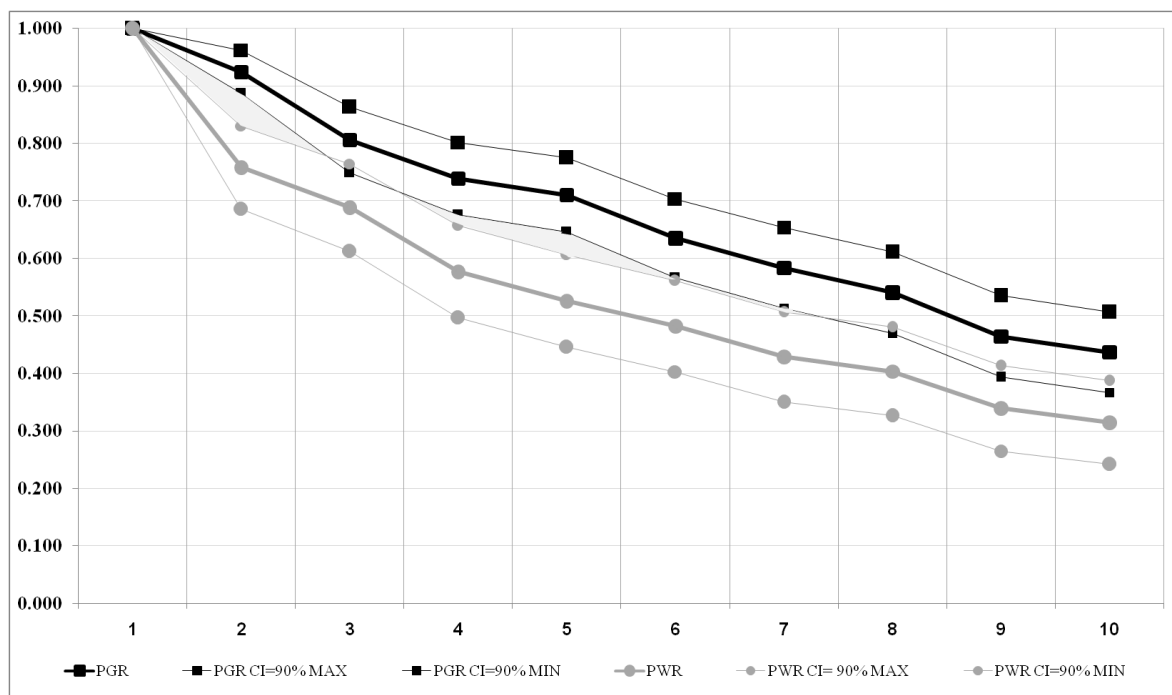


Figure 4. Cumulative survival curve of KaplanMeier, steers with clear nasal discharge (CND) during ten weeks of fattening (CI = 90%) evaluated in PGR treatment and PWR treatment. Gray shaded area indicates significant differences between treatments ($P < 0.05$). PGR, pen with thermal plastic greenhouse roof; PWR, pen without thermal plastic greenhouse roof.



5. DISCUSIÓN

El transporte, en combinación con la engorda, forma parte de la estrategia de la industria de la carne necesaria para lograr satisfacer la demanda mundial. El uso de corrales de engorda intensiva de bovinos está aumentando en muchas partes del mundo (Mader, 2011) ya que, permite la producción de un mayor volumen de carne de manera más rápida y en una superficie menor; por lo que ambas actividades serán cada vez más frecuentes. A pesar de los numerosos estudios que se han realizado para comprender los factores que tienen impacto sobre el bienestar en animales transportados, poco se conoce sobre el papel que desempeñan los conductores en este proceso y los efectos que tiene el compartimento del remolque sobre la aptitud y desempeño de los animales durante las primeras semanas de adaptación a los corrales de engorda. En general, los resultados de nuestros tres estudios nos muestran la necesidad de generar una visión integradora en la industria ganadera que sea una simbiosis entre la sustentabilidad, el bienestar humano y animal.

Estudio 1.

El desempeño laboral está afectado por diversos factores, que incluyen la personalidad, la satisfacción laboral, la motivación, la autoeficacia, el logro, la fatiga física y psicológica, el entorno y la identificación con la organización (Zhao *et al.*, 2015). Los conductores de camiones para ganado deben trabajar bajo presión para entregar animales vivos y sanos, por lo que deben conducir durante períodos prolongados y en horarios poco regulares; expuestos a restricciones de sueño, fatiga postural, exposición a ruidos y vibraciones, sedentarismo, dieta poco saludable, exposición a gases del escape de diésel, manipulación para carga/descarga de animales y otros factores de estrés ocupacional (Miranda-de la Lama *et al.*, 2011). No se han realizado investigaciones significativas sobre las relaciones entre el bienestar animal, el bienestar ocupacional y los factores de riesgo operacional. Por lo que, nuestro estudio es pionero en esclarecer estas relaciones utilizando un caso nacional para comprender un fenómeno con amplias implicaciones internacionales.

El riesgo laboral al que está expuesto este grupo, tendría una importante relación con el desempeño de sus actividades y la forma de percibir el bienestar de los animales con los que trabaja. Los análisis realizados sugirieron la existencia de cuatro perfiles de conductores (G1, G2, G3, G4). Los cuatro perfiles fueron determinados mediante preguntas sobre el reconocimiento de emociones y

necesidades de los animales, además de otras preguntas relacionadas con normatividad y el impacto del estrés en la calidad de la carne. En todos los perfiles se reconoció que los animales experimentan dolor a veces durante el transporte; el reconocimiento de los animales como seres perceptivos que pueden sufrir, a menos que sean manipulados adecuadamente, ha dado como resultado el desarrollo de regulaciones de bienestar animal de granja a nivel público y privado en todo el mundo (Hansson y Lagerkvist, 2016). Se encontró una importante asociación de los años de experiencia con la forma de percibir el bienestar animal; los grupos G1 y G3 mostraron una alta empatía positiva y reconocimiento de las emociones experimentadas por el ganado. Por otra parte, G2 y G4 mostraron bajos valores de aceptación, siendo definidos como escépticos hacia el bienestar animal y, fueron estos mismos grupos los que se han visto involucrados en un mayor número de accidentes en carretera, por lo que las actitudes hacia el ganado podrían ser un elemento clave para identificar a aquellos con mayor riesgo de accidentabilidad.

Las prácticas actuales del transporte comercial de ganado en México son conocidas entre las personas que se desenvuelven en este medio, pero comenzaron a ser documentadas tan solo algunos años atrás (Pulido *et al.*, 2018; Valadez-Noriega *et al.*, 2018; Larios-Cueto *et al.*, 2019). De acuerdo con la información recopilada en las encuestas, fueron identificadas 40 rutas de movilización de ganado en México. Si bien es sabido que los viajes más largos tienen un mayor efecto sobre los animales, los resultados de nuestros estudios demuestran que los viajes de más de 20 horas (con rutas superiores a los 1,200 km), son los más frecuentes, ya que permiten satisfacer de manera eficiente y todo el año las necesidades de la industria y del consumidor (Groves, 2020). Muchas de las prácticas observadas durante los 5 años de estudio, tales como el tipo de arreo, los tiempos de carga y descarga, la duración del viaje y de las paradas de descanso y la densidad y el acomodo de los bovinos dentro de los vehículos, se han realizado desde hace muchos años por gente involucrada en el sector ganadero y se han transmitido de generación en generación; pero además de las recomendaciones mencionadas en los manuales de Buenas Prácticas Pecuarias de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y de la existencia de la *NOM-051-ZOO, 1995 - Trato humanitario en la movilización de animales*, la cual se encuentra desactualizada, no existe a nivel nacional una reglamentación clara y adecuada a las prácticas actuales. Aunado a lo anterior, la

vigilancia para el cumplimiento de esta y otras normas, tiene un enfoque mayormente sanitario, observando que es muy común que los ganaderos, conductores y autoridades desconocen su existencia.

En el país, el transporte para carga de animales se considera igual a otros transporte de carga que circulan en las carreteras; los lineamientos por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes excluyen cualquier especificación sobre carga animal y no se exige ningún conocimiento previo o entrenamiento formal que asegure una conducción y manejo adecuado de estas unidades; esto fue observado durante la aplicación de las encuestas, en donde se confirmó que esta actividad tan delicada y de alto riesgo, se aprende sólo mediante la observación y el acompañamiento informal de los conductores más experimentados. Además de las largas jornadas laborales descritas por los conductores, la falta de entrenamiento formal, podría ser otro factor predisponente al riesgo de sufrir accidentes en carretera o durante el manejo del ganado, los cuales también fueron descritos por primera vez en nuestro estudio. Otro factor determinante en el aumento de los tiempos de viaje fue que, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), cuenta con 293 Puntos de Verificación e Inspección (PVI) autorizados en materia zoonosanitaria, estos aún operan con poca tecnología y mucha documentación, que muchas veces aún es llenada manualmente, además tienen infraestructura muy básica para el acomodo y recepción de los vehículos durante las inspecciones, así como poca comunicación entre los diferentes puntos, lo que prolonga los tiempos de traslado del ganado. Los problemas con los errores en la documentación o su revisión, llegan a provocar el retorno de los animales a veces hasta el lugar de origen, incluso después de haber sido permitido el paso en PVI previos; lo que genera mayor perjuicio a los animales y pérdida de la eficiencia de la cadena. El bienestar del ganado durante el transporte debe ser una prioridad para la industria ganadera, sin dejar de lado el bienestar, la salud y los derechos laborales de los conductores.

Estudio 2

Algunos estudios han demostrado que los viajes de larga distancia tienen consecuencias inmediatas sobre el bienestar, pero pocos han estudiado las consecuencias directas que puede tener el compartimento; aunque se ha reportado

que este es problemático en distintas especies (Conte *et al.*, 2015; White *et al.*, 2009; Goldhawk *et al.*, 2015; Miranda de la Lama *et al.*, 2018). Por primera vez, en nuestro estudio se han evaluado más a detalle las consecuencias del compartimento sobre la salud, comportamiento y el proceso de adaptación de los bovinos al nuevo entorno. Es ampliamente aceptado que los primeros dos meses después de la llegada al corral de engorda representan un período crucial para el bienestar del ganado (Noffsinger *et al.*, 2015); normalmente todos los problemas que comienza a presentar el ganado después del arribo, son atribuidos a la falta de atención o el mal diagnóstico y aplicación de medicamentos en el lugar de destino; pocas veces se toman en consideración los problemas que surgen como consecuencia del transporte. Algunas malas prácticas realizadas a lo largo del proceso de transporte pueden tener efectos irreversibles, incluso si se proveen las mejores condiciones y ambiente en el lugar de destino. En ocasiones, los cortos periodos de estancia del ganado en los corrales de engorda, no permiten una recuperación completa de los animales antes de su salida, por lo que muchos de ellos no logran alcanzar el desempeño esperado y, por otra parte, muchos animales con tratamientos recientes son vendidos sin respetar los tiempos de retiro de los medicamentos.

Durante la evaluación post-transporte se observó que el compartimento en el cual viajaron los animales, especialmente la cubierta y “la panza” del remolque, tuvieron efectos en el comportamiento y salud de los animales, lo cual se vio reflejado en diferentes periodos a lo largo de los primeros 60 días de confinamiento. Lo anterior fue atribuido a que estos compartimentos son más demandantes debido a su microclima y, a una mayor cantidad de vibraciones (en el caso de la panza) por su cercanía con las fuentes que las producen, como el piso, llantas y otras partes del vehículo, además de que la percepción de estas vibraciones se hace mayor después de largos periodos de pie (Gebresenbet *et al.*, 2011). Se determinaron dos principales problemas derivados del transporte de larga distancia, el primero fue la presentación de animales con Síndrome de Fatiga Bovino (SFB) y el segundo, animales que presentaron complejo respiratorio bovino (CRB), comúnmente llamado fiebre de embarque en el medio de producción ganadera. El SFB, que ya había sido reportado como una consecuencia del proceso de transporte por Thomson *et al.* (2015), fue persistente durante las dos primeras semanas en aquellos animales que viajaron en la panza del remolque; a pesar de tener la oportunidad de rehidratarse al arribo, se

observó una reducida actividad en los bovinos, los cuales disminuyeron el consumo de materia seca y de agua a la llegada, similar a lo reportado por Clariget *et al.* (2021), esto tiene repercusiones en el inicio de ingesta de materia seca, la hidratación y posteriores problemas digestivos y metabólicos que, a su vez, prolongan los tiempos de adaptación al confinamiento. Por otra parte, se encontraron signos persistentes de CRB desde el día 5 hasta el día 60 después de la llegada; algunos de estos signos, como descarga nasal y tos, sugieren la presencia de un problema respiratorio que si bien, puede adquirirse por contagio dentro de corrales (Groves, 2020), diversas investigaciones han demostrado que una mayor incidencia y gravedad del CRB, es debida al estrés causado por el transporte de larga distancia (Earley *et al.*, 2017) y, mientras no se tenga evidencia de vacunaciones previas (en el lugar de origen), puede deberse a infecciones preexistentes. Los datos obtenidos sobre las características de los compartimentos y su efecto directo en los animales, podría utilizarse como referencia al determinar el acomodo de los animales lo que permitirá realizar manejos o tratamientos más específicos en los grupos de animales que viajan en los compartimentos de mayor riesgo. La detección y tratamiento oportuno de estos problemas en corral de engorda, dependerá de la capacidad del personal para evaluar signos como depresión, fiebre y anorexia (Weary *et al.*, 2009; Timsit *et al.*, 2016); como se demostró en nuestro estudio, el utilizar la evaluación más detallada del comportamiento de los animales permite detectar a los animales afectados y hacer diagnósticos más oportunos. Tal es el caso de los animales que presentaron lesiones en miembros locomotores; en ocasiones no es posible observar la lesión directamente, pero la observación de la actividad y comportamientos de mantenimiento, como el tiempo que destinan a estar echados o descansando, así como la observación de claudicación, sugerirá la presencia de dolor, así como lesiones en la pezuña o las extremidades (Alsaad *et al.*, año; Fadul, y Steiner, 2019; Bautista-Fernández *et al.*, 2021), permitiendo la elección más adecuada para favorecer a una recuperación más rápida y una mejor adaptación al nuevo entorno.

Estudio 3

Finalmente, los sistemas intensivos de engorda de ganado son restrictivos con respecto a recursos clave como la sombra, el confort térmico, el espacio de alimentación y las áreas de superficie en comparación con los sistemas de pastoreo (Valadez-Noriega *et al.*, 2020). Por lo tanto, para un novillo proveniente de sistemas

de pastoreo, que ha pasado por un viaje de larga distancia y que es colocado en un ambiente restrictivo, la llegada al confinamiento puede representar un desafío significativo para los mecanismos homeostáticos y de comportamiento, con altos costos biológicos en relación con el bienestar y la salud animal (Marchesini *et al.*, 2018). Proveer a los animales un mayor número de herramientas, como el espacio adecuado, fácil y suficiente acceso de alimento y agua fresca, así como la provisión de sombra, permitirá al ganado alcanzar un mayor estado de bienestar (González *et al.*, 2018; Valadez-Noriega *et al.*, 2020).

El uso de sombra en los sistemas de engorda intensivos, sigue siendo un tema controversial. Mientras que aún existe una gran cantidad de productores renuentes a ofrecer a sus animales la posibilidad de termorregularse, otros ya han considerado o implementado algún tipo de sombra para su ganado debido a las condiciones climáticas actuales, con marcados aumentos de temperatura, pero principalmente gracias a la influencia de nueva información científica publicada. Como todos los animales, el bovino también es susceptible al estrés por calor si no tiene los mecanismos, ni las herramientas que le permitan disiparlo en momentos de temperatura ambiente elevada (Edwards-Callaway *et al.*, 2021). Numerosas ventajas de la colocación de sombras dentro de los corrales de engorda fueron observadas en esta parte experimental del estudio. Desde los primeros días fue posible observar diferencias en el comportamiento entre los animales con acceso y sin acceso a sombra; comportamientos que reflejaron el estado de confort o falta de confort en cada uno de los tratamientos. Aunque los resultados y los efectos positivos sobre los animales fueron importantes y pudieron ser percibidos desde los primeros días post-transporte; quizá para las empresas ganaderas y la industria de la carne la mayor importancia de estos resultados radica en los beneficios económicos, encontrando importantes diferencias en la utilidad generada por por cada kilo adicional ganado por los animales alojados dentro de los corrales con sombra.

En el estudio, la sombra utilizada fue de plástico tipo invernadero, un diseño que actualmente se está extendiendo en las producciones del centro del país. Sus características de cubrir 100% de la superficie de los corrales, se realizó con la intención de prevenir la entrada de agua y consecuente encharcamiento de los corrales en época de lluvia; sin embargo, también arrojó importantes beneficios al evitar la entrada de radiación solar directa. Pero este diseño no debería ser tomado

como referencia para todo el territorio nacional ya que, según la ubicación de la operación, la sombra puede o no ser beneficiosa durante todas las épocas del año, lo que puede influir en la elección del material y la decisión de hacer de la sombra una parte permanente o no en los sistemas. La sombra puede ser natural o artificial y la elección de la forma, material y tamaño debe ser de acuerdo con el tipo de operación y su ubicación geográfica. No todas las estructuras de sombra tienen la misma capacidad para mitigar los efectos de la radiación y aunque la sombra es útil para reducir el estrés calórico, si la estructura se diseña incorrectamente, es posible que no proporcione el alivio previsto de las condiciones ambientales y, de hecho, puede empeorar las condiciones (Binns *et al.*, 2002). Por ello, antes de elegir el tipo de sombra, siempre se deben considerar las condiciones climáticas de la región en donde se encuentran los corrales de engorda.

6. CONCLUSIONES Y CONTRIBUCIÓN GLOBAL DEL PROYECTO

El transporte de animales de granja es un nodo estratégico de la industria de la carne, con efectos directos e indirectos sobre el precio de la carne, la trazabilidad, la seguridad alimentaria, los canales de comercialización, las barreras comerciales y la opinión pública, además de tener importantes implicaciones para el bienestar animal. La organización de la cadena de producción de carne de vacuno en México, se encuentra bien definida por cada una de sus partes, pero a su vez se encuentra claramente segmentada. El seguimiento de algunas prácticas tradicionales y anticuadas, la falta de regulación de las prácticas ganaderas, la falta de inversión en infraestructura y nueva tecnología, pero sobre todo, la falta de interés en la capacitación continua y en temas de bienestar animal y laboral de quienes participan en esta actividad, provoca pérdidas en cada eslabón a lo largo de toda la cadena, haciéndola una industria menos eficiente y cuyas pérdidas se verán reflejadas en la calidad y/o el costo final del producto, que de alguna manera será cubierto por aquellos consumidores que tengan la posibilidad económica de hacerlo. Hasta el momento, la industria de la carne se ha mantenido debido a que aún existe una alta demanda de los productos y subproductos del bovino y a los márgenes de utilidad que todavía se generan; no obstante, lo que aún no se está considerando es lo que se está dejando de generar.

El constante incremento de costos en los insumos básicos para la producción de ganado, tales como los granos, medicamentos, combustibles, entre otros, se está convirtiendo o ya representa una piedra angular de la gestión y un factor determinante para permanecer o no, dentro de este negocio; por lo que no es posible permitir aquellas fugas en procesos que pueden ser mejorados mediante capacitación y mejora de las prácticas, sobre todo en aquellas prácticas olvidadas dentro del proceso de transporte en México. La generación de nuevos datos podría tener impactos a largo plazo en la legislación correspondiente a los procedimientos de transporte en el país, pero, por otra parte, el monitoreo de los datos correspondientes al costo del transporte, pérdidas económicas, muertes, lesiones o desgaste del ganado, permitiría acciones correctivas a mediano o corto plazo por parte de estas empresas.

Los resultados obtenidos a través de los diferentes estudios, permitirán mejorar la comprensión del sistema de producción de ganado bovino en México y han permitido el comienzo de una caracterización más completa de las diferentes prácticas en el transporte de larga distancia. Al mismo tiempo, estos sugieren como la interpretación del comportamiento de los animales y la implementación de pequeños cambios que favorezcan al bienestar de los mismos, llegan a tener importantes efectos en la eficiencia de los sistemas de engorda y mejores márgenes de utilidad al combinar las herramientas adecuadas. Si bien, los nuevos datos representan tan solo una parte de todo el sistema, podrán ser la base y el punto de partida de nuevos trabajos de investigación que se realicen de la mano de ganaderos, la industria y otros profesionales del área para generar datos obtenidos en condiciones comerciales y que, realmente reflejen lo que ocurre de manera cotidiana.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Miranda de la Lama GC. Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*, 2013; 44, 31-56.
2. Smith SB, Gotoh T, Green PL. Current situation and future prospects for global beef production: overview of special issue. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2018; 31(7), 927-932.
3. María GA. Public perception of farm animal welfare in Spain. *Livestock Science*, 2006; 103, 250-256.
4. Engebretson M. North America. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK, CABI 2008; 218-260.
5. Broom DM. The Welfare of Livestock During Road Transport. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK, CABI 2008; 218–260.
6. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Panorama Agroalimentario 2021 – Carne en canal de bovino. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021. Fecha de consulta: marzo de 2022.
7. Vargas BPE, Miranda-de la Lama GC, Teixeira DL, Enríquez-Hidalgo D, Tadich T, Lensink J. Farm animal welfare influences on markets and consumer attitudes in Latin America: The cases of Mexico, Chile and Brazil. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 2017; 30(5), 697-713.
8. Bazzini M, Gómez I, Rivarola I, Jensen E, Santa Coloma L, Achával M. Una aproximación al problema del desbaste. *Revista de la Sociedad Rural de Jesús María*, 2000; 117, 8-22.
9. Loerch SC, Fluharty FL. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *J Anim Sci*, 1999, 77, 1113-1119.
10. Schaefer AL, Dubeski PL, Aalhus JL, Tong AKW. Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. *J Anim Sci, Journal of Animal Science*, 2001; 79, E91-E101.
11. Griffin D, Chengappa MM, Kuszak J, McVey DS. Bacterial pathogens of the bovine respiratory disease complex. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 2010; 26, 381-394.

12. Deng L, He C, Zhou Y, Xu L, Xiong H. Ground transport stress affects bacteria in the rumen of beef cattle: A real-time PCR analysis. *Anim Sci J*, 2017; 88, 790-797.
13. Nielsen B., Dybkjær L., & Herskin, M. Road transport of farm animals: Effects of journey duration on animal welfare. *Animal*, 2011; 5(3), 415-427.
14. Wasilewski, J., Szczepanik M., Burski, Z., Juściński S. Analysis of non-conformities in road transport of animals in Poland. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 2020; 23(2), 244-252.
15. Scalco A, Ganga G, Oliveira S, Piao R, Pigatto G, Machado JG. Perception of quality attributes in short agri-food chains. *International Journal on Food System Dynamics*, 2021; 12(2), 108-124.
16. Zu Ermgassen EK, Godar J, Lathuillière MJ, Löfgren P, Gardner T, Vasconcelos A, Meyfroidt P. The origin, supply chain, and deforestation risk of Brazil's beef exports. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020; 117(50), 31770-31779.
17. Peel DS, Mathews Jr. KH, Johnson RJ. Trade, the expanding Mexican beef industry, and feedlot and stocker cattle production in Mexico. LDP-M-206-01. *Economic Res Serv, USDA*. 2011.
18. Parra-Bracamonte GM, Lopez-Villalobos N, Morris ST, Vázquez-Armijo JF. An overview on production, consumer perspectives and quality assurance schemes of beef in Mexico. *Meat Science*, 2020; 108:239.
19. Mader TL. Mud effects on feedlot cattle. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 2011; 613, 82-83.
20. Grandin T. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Veterinary and Animal Science*, 2016; 1-2, 23-28.
21. Valadez-Noriega M, Mendez-Gomez-Humarán MC, Rayas-Amor AA, Sosa-Ferreyra CF, Galindo Maldonado F, Miranda-de la Lama GC. Effects of greenhouse roofs on thermal comfort, behaviour, health, and finishing performance of commercial Zebu steers in cold-arid environments. *Journal of Veterinary Behavior*, 2020; 54-61.
22. Appleby MC, Mitchell LA. Understanding human and other animal behaviour: Ethology, welfare and food policy. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2018; 126-131.
23. Hansen BG, Østerås O. Farmer welfare and animal welfare- Exploring the relationship between farmer's occupational well-being and stress, farm expansion and animal welfare. *Preventive Veterinary Medicine*, 2019; 170.

24. Estévez-Moreno LX, Miranda-de la Lama GC, Miguel-Pacheco GG. Consumer attitudes towards farm animal welfare in Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia: A segmentation-based study. *Meat Science*, 2022; 187, 108747.
25. Jarzembowski S, Bourlakis M, Bezat-Jarzembowska A. Short food supply chains (SFSC) as local and sustainable systems. *Sustainability*, 2020; 12, 4715.
26. Paranhos da Costa MJR, Huertas SM, Gallo C, Dalla Costa OA. Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits. *Meat Science*, 2012; (92), 221-226.
27. Niederle PA, Silva FN. (2020). As indicações geográficas e os novos mercados para os vinhos brasileiros, En: M. Gazolla and S. Schneider (Eds), *Cadeias curtas e redes agroalimentares alternativas: Negócio e mercados da agricultura familiar*, UFRGS.
28. Montossi F, Cazzuli F, Brito G, Realini S, Luzardo S, Rovira P, Font-i-Furnols M. The challenges of aligning consumer preferences and production systems: Analysing the case of a small beef meat exporting country. *Int. J. Agric. Pol. Res.*, 2018; 6 (9), 144-159.
29. Miranda de la Lama GC, Leyva IG, Barreras-Serrano A, Pérez-Linares C, Sánchez-López E, María GA, Figueroa-Saavedra F. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 2012b; 44(3), 497-504.
30. Miranda de la Lama, GC, Estévez-Moreno LX, Sepúlveda WS, Estrada-Chavero MC, Rayas-Amor AA, Villarroel M, María GA. Mexican consumers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare and willingness to pay for welfare friendly meat products. *Meat Science*, 2017; 125, 106-113.
31. Endres MI, Schwartzkopf-Genswein K. Overview of cattle production systems. *Advances in Cattle Welfare*, 2018; (pp. 1-26).
32. Villanueva-Partida CR, Díaz-Echeverría VF, Chay-Canul AJ, Avilés LR, Casanova-Lugo F, Oros-Ortega I. Comportamiento productivo e ingestivo de ovinos en crecimiento en sistemas silvopastoriles y de engorda en confinamiento. *Rev Mex Cienc Pecu*, 2019; 10, 870-884.
33. Rivera A, de la Salud Rubio M, Zanasi C, Olea R, Güereca P. Environmental impact evaluation of beef production in Veracruz using life cycle assessment. In *Proceedings of the 9th international conference on life cycle assessment in the agri-food sector (LCA Food 2014)*, San Francisco, 2014 (pp. 8-10).

34. Groves JT. Details to attend to when managing high-risk cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 2020; 36(2), 445-460.
35. Millen DD, Pacheco RDL, Meyer PM, Mazza Rodrigues PH, De Beni Arrigoni M. Current outlook and future perspectives of beef production in Brazil. *Anim. Front.*, 2014; 1, 46-52.
36. Johnson RJ, Doye D, Lalman DL, Peel DS, Raper KC, Chung C. Factors affecting adoption of recommended management practices in stocker cattle production. *J. Agric. Appl. Econ.*, 2010; 42(1), 15-30.
37. Millen DD, Pacheco RDL, Arrigoni MDB, Galyean ML, Vasconcelos JT. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. *J. Anim. Sci.*, 2009; 87, 3427-3439.
38. Valadez-Noriega M, Estévez-Moreno LX, Rayas-Amor AA, Rubio-Lozano MS, Galindo F, Miranda-de la Lama GC. Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 2018; 160, 76-84.
39. United States Department of Agriculture. *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. USDA, 2021. Disponible en: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/73666448x?locale=en>. Fecha de acceso: Agosto, 2021.
40. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Food and Nutrition in Numbers*. 2014. Roma, FAO.
41. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. *Panorama Agroalimentario – Carne de Bovino 2017*. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017__1_.pdf. Fecha de acceso: Febrero de 2021.
42. Asociación Mexicana de Productores de Carne (AMEG). *Panorama Nacional 2021*. Disponible en: <https://ameg.org.mx/estadisticas.html>. Fecha de acceso: Marzo, 2022.
43. Šímová V, Večerek V, Passantino A, Voslášková E. Pre-transport factors affecting the welfare of cattle during road transport for slaughter: a review. *Acta Veterinaria Brno*, 2016; 85(3), 303-318.
44. Schwartzkopf-Genswein KS, Faucitano L, Dadgar S, Shand P, González LA, Crowe TG. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its

- impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *Meat Science*, 2012; 92(3), 227-243.
45. Tucker CB, Coetzee JF, Stookey J, Thomson DU, Grandin T, Schwartzkopf Genswein KS. Beef cattle welfare in the USA: Identification of priorities for future research. *Anim. Health Res. Rev.*, 2015; 16(2), 107-124.
46. Tarrant PV. Transportation of cattle by road. *Applied Animal Behaviour Science*, 1990; 28(1-2), 153-170.
47. European Food Safety Authority. Animal transport: help us prepare our assessment. 2021. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/news/animal-transport-help-us-prepare-our-assessment>. Fecha de acceso: Septiembre, 2021.
48. Faucitano L, Goumon S. 2018. Transport of pigs to slaughter and associated handling. In *Advances in pig welfare*, (pp. 261-293). Woodhead Publishing.
49. Rojek B. (2024). Protection of animals during transport - Data on live animal transport. EPRS. European Parliamentary Research Service. 2021. Disponible en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690708/EPRS_BRI\(2021\)690708_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690708/EPRS_BRI(2021)690708_EN.pdf). Fecha de acceso: junio de 2022.
50. Moak KAT. (2024). Impact of two novel trailer designs on trailer microclimate, animal welfare, and meat quality during short distance transportation of pigs to slaughter under Canadian summer and winter conditions (Doctoral dissertation, University of Guelph), 2021.
51. Mitchell MA, Kettlewell PJ. Engineering and design of vehicles for long distance transport of livestock (ruminants, pigs and poultry). *Vet Ital*, 2008; 44, 201-213. 29.
52. ACERTA. Nace el sello de calidad WOW para certificar el bienestar animal en el transporte de animales. 2021. Disponible en: <https://acerta-cert.com/noticia-19-sello-wow-bienestar-animal-en-transporte/>. Fecha de acceso: Noviembre, 2021.
53. Miranda-de la Lama GC, Villarroel M, María GA. Livestock transport from the perspective of the pre-slaughter logistic chain: a review. *Meat Science*, 2014, (98), 9-20.
54. Tomczak DJ, Samuelson KL, Jennings JS, Richeson JT. Oral hydration therapy with water and bovine respiratory disease incidence affects rumination behavior, rumen pH, and rumen temperature in high-risk, newly received beef calves. *Journal of Animal Science*, 2019; 97(5), 2015-2024.
55. Valadez NM, Miranda-de la Lama GC. Principales retos y avances en el transporte de ganado en Latinoamérica. *Revista Mexicana de Agroecosistemas: Memoria de*

- artículos en extenso y resúmenes XLVI Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. Vol. 6, 2019. ISSN:2007-9559.
56. Gallo C. Using scientific evidence to inform public policy on the long distance transportation of animals in South America. *Vet Ital*, 2008; 44(1), 113-120.
 57. Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales. *Diario Oficial de la Federación*. 31 oct 1996. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563487/NOM-051-ZOO-1995_230398.pdf. Fecha de acceso: Enero de 2020.
 58. Hirata M, Arimoto C, Hattori N, Anzai H. Can cattle visually discriminate between green and dead forages at a short distance while moving in the field? *Animal Cognition*, 2019; 22(5), 707-718.
 59. Phillips CJC, Lomas CA. The perception of color by cattle and its influence on behavior. *Journal of Dairy Science*, 2001; 84(4), 807-813.
 60. Ludtke CB, Panim CJR, Dandin T, Barbalho PC, Andrade VJ, Ferrarini C. *Abate humanitário de bovinos*. Rio de Janeiro, Brasil. WSPA, 2012. ISBN: 978-85-63814-01-02.
 61. Terlouw EC, Boissy A, Blinet P. Behavioural responses of cattle to the odours of blood and urine from conspecifics and to the odour of faeces from carnivores. *Applied Animal Behaviour Science*, 1998; 57(1-2), 9-21.
 62. Yoshihara Y, Oya K. Characterization and assessment of vocalization responses of cows to different physiological states. *Journal of Applied Animal Research*, 2021; 49(1), 347-351.
 63. North American Meat Institute (NAMI). *Recommended Animal Handling Guidelines and Audit Guide- A Systematic approach of animal welfare (2021)*. Disponible en: https://animalhandling.org/producers/guidelines_audits. Fecha de acceso: Marzo, 2022.
 64. Puppe B, Langbein J., Bauer J, Hoy S. A comparative view on social hierarchy formation at different stages of pig production using sociometric measures. *Livestock Science*, 2008; 113(2-3), 155-162.
 65. Grandin T. Assessment of stress during handling and transport. *J Anim Sci*, 1997; 75, 249-257.
 66. Ljungberg D, Gebresenbet G, Aradom S. Logistics chain of animal transport and abattoir operations. *Biosystems Engineering*, 2007; 96(2), 267-277.

67. Bernhardt H, Engelhardt D, Lixfeld W, Kolundzija E. New transport systems in grain logistic between farm and retailer. In Agricultural and biosystems engineering for a sustainable world. International Conference on Agricultural Engineering, Hersonissos, Crete, Greece, 23-25 June, 2008. European Society of Agricultural Engineers (AgEng).
68. Miranda de La Lama GC, Villarroel M, Olleta JL, Alierta S, Sañudo C, Maria GA. Effect of the pre-slaughter logistic chain on meat quality of lambs. *Meat Science*, 2009; 83(4), 604-609.
69. Pederson L, Yates J, Wieman A. Preparation and response to truck accidents on highways involving cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 2018; 34(2), 289-307.
70. Maria GA, Villarroel M, Chacon G, Gebresenbet G. Scoring system for evaluating the stress to cattle of commercial loading and unloading. *Veterinary Record*, 2004; 154(26), 818-821.
71. Fisher DA, Colditz GI, Lee C, Ferguson MD. The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *J Vet Behavior* 2009; (4), 157-162.
72. Ceballos MC, Sant'Anna AC, Boivin X, de Oliveira Costa F, Monique VDL, da Costa MJP. Impact of good practices of handling training on beef cattle welfare and stockpeople attitudes and behaviors. *Livestock Science*, 2018; 216, 24-31.
73. Aghwan ZA, Bello AU, Abubakar AA, Imlan JC, Sazili AQ. Efficient halal bleeding, animal handling, and welfare: A holistic approach for meat quality. *Meat Science*, 2016; (121), 420-428.
74. Colditz IG, Watson DL, Kilgour R, Ferguson DM, Prideaux C, Ruby J, Kirkland PD, Sullivan K. Impact of animal health and welfare research within the CRC for cattle and beef quality on Australian beef production. *Aust J Exp Agric* 2006; (46), 233-244.
75. Hoffman LC, Lühl J. Causes of cattle bruising during handling and transport in Namibia. *Meat Science*, 2012; 92, 115-124.
76. Tomczak DJ, Samuelson KL, Jennings JS, Richeson JT. Oral hydration therapy with water affects health and performance of high-risk, newly received feedlot cattle. *Applied Animal Science*, 2018; 35(1), 30-38.
77. Cockram MS. Fitness of animals for transport to slaughter. *The Canadian Veterinary Journal*, 2019; 60(4), 423.

78. Arthington JD, Eicher SD, Kunkle WE, Martin FG. Effect of transportation and commingling on the acute-phase protein response, growth, and feed intake of newly weaned beef calves. *Journal of Animal Science*, 2003; 81(5), 1120-1125.
79. Cockram MS. Invited Review: The welfare of cull dairy cows. *Applied Animal Science*, 2021; 37(3), 334-352.
80. Step DL, Krehbiel CR, DePra HA. 2008. Effects of commingling beef calves from different sources and weaning protocols during a forty-two-day receiving period on performance and bovine respiratory disease. *J Anim Sci*, 86, 3146-3158.
81. Knowles TG. A review of post transport mortality among younger calves. *Veterinary Record*, 1995; 137, 406-407.
82. Ashenafi D, Yidersal E, Hussen E, Solomon T, Desiye M. The Effect of long distance transportation stress on cattle: a Review. *Biomedical Journal*, 2018; 2(5).
83. Stockman CA, Collins T, Barnes AL, Miller D, Wickham SL, Beatty DT, Blache D, Wemelsfelder F, Fleming PA. Qualitative behavioral assessment and quantitative physiological measurement of cattle naive and habituated to road transport. *Anim. Prod. Sci.* 2011, 51, 240-249.
84. Swanson JC, Morrow-Tesch J. Cattle transport: Historical, research, and future perspectives. *Journal of Animal Science*, 2001; 79, E102-E109.
85. Grandin T. ~~(1990)~~ Design of loading facilities and holding pens. *Applied Animal Behaviour Science*, 1990; 28(1-2), 187-201.
86. Villarroel M, Maria G, Sierra I, Sañudo C, Garcia-Belenguer S, Gebresenbet G. Critical points in the transport of cattle to slaughter in Spain that may compromise the animals' welfare. *Vet Rec.*, 2001; 149, 173-176.
87. Becerril-Herrera M, Mota-Rojas D, Guerrero Legarreta I, Schunemann de Aluja A, Lemus-Flores C, González-Lozano M, Ramírez-Necoechea R, Alonso-Spilsbury M. Aspectos relevantes del bienestar del cerdo en tránsito. *Vet Méx.*, 2009; 40, 315-329.
88. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Manual de procedimientos de bienestar animal durante el presacrificio y matanza de bovinos. 2016. San Salvador, El Salvador.
89. NSF International. 2019. NSF Global Animal Wellness Standard (Beef Production). Disponible en: https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/nsf_animal_wellness_program_standard_beef_production.pdf?v=159492978. Fecha de acceso: Junio, 2022.

90. American Humane. 2017. Animal Welfare Standards Audit Tool – Beef Cattle. Disponible en: <https://www.americanhumane.org/app/uploads/2021/08/Beef-Cattle-Audit-Tool-1.pdf>. Fecha de acceso: Junio, 2022.
91. Humane Farm Animal Care (HFAC). 2020. Humane farm animal care animal care standards– Beef Cattle. Disponible en: https://materiais.certifiedhumanebrasil.org/normas-ganado-bovino?utm_campaign=resposta_automatica_da_landing_page_espa%C3%B1ol_-_normas_-_ganado_bovino&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Fecha de acceso: Septiembre, 2021.
92. Huertas SM, Kempener RE, Van Eerdenburg FJ. Relationship between methods of loading and unloading, carcass bruising, and animal welfare in the transportation of extensively reared beef cattle. *Animals*, 2018; 8(7), 119.
93. Waiblinger S, Boivin X, Pedesen V, Tosi MV, Janczak AM, Visser EK, Jones RB. Assessing the human-animal relationship in farmed species: a critical review. *Applied Animal Behaviour Science*, 2006; 101(3-4), 185-242.
94. Strappini AC, Metz JHM, Gallo C, Frankena K, Vargas R, de Freslon I, Kemp B. Bruises in culled cows: where and how are they inflicted? *Animal*, 2012; 7, 485-491.
95. Romero MH, Cobo CG, González LM. Estudio de indicadores conductuales para evaluar el descargue de bovinos en plantas de beneficio. *Luna Azul*, 2013; 37, 10-17.
96. Herrán L, Romero M, Herrán L. Interacción humano-animal y prácticas de manejo bovino en subastas colombianas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 2017; 28(3), 571-585.
97. Servicio Agrícola Ganadero. Reglamento sobre protección del ganado durante el transporte (Decreto N° 30, Ministerio de Agricultura). 2013. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1051151>. Fecha de acceso: Agosto de 2021.
98. Massot A, Negre F, Vinci C, Dinkel T. Patterns of livestock transport in the EU and to third countries. 2021. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
99. Gallo CB, Tadich TA. 2008. Southamerica; en: Long distance transport and welfare of rarm animals, CABI, Wallingford, UK. pp. 261-287.

100. Lapworth, JW. Engineering and design of vehicles for long distance road transport of livestock: the example of cattle transport of Northern Australia. *Vet Ital*, 2008; 44(1), 215-222.
101. Pezzaioli. Camiones y carrocerías para el transporte de ganado – 2016. Disponible en: <http://www.pezzaioli.es>. Fecha de acceso: Enero de 2017.
102. Weschenfelder AV, Torrey S, Devillers N, Crowec T, Bassols A, Saco Y, Piñeiro M, Saucier L, Faucitano L. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a short distance. *Livestock Science*, 2013; (157), 234-244.
103. Wilson Trailer. The silverstar livestock trailer. Disponible en: <https://www.wilsontrailer.com/trailers/silverstar/>. Fecha de acceso: Agosto de 2021.
104. Tarrant PV, Kenny FJ, Harrington D. The effect of stocking density during 4-hour transport to slaughter on behaviour, blood constituents and carcass bruising in Friesian steers. *Meat Science*, 1988; (24), 209-222.
105. Petherick JC, Phillips CJC. Space allowances for confined livestock and their determination from allometric principles. *Applied Animal Behaviour Science*, 2009; 117, 1-12.
106. González LA, Schwartzkopf-Genswein KS, Bryan M, Silasi R, Brown F. Space allowance during commercial long distance transport of cattle in North America. *Journal of Animal Science*, 2012; 90(10), 3618-29.
107. Gebresenbet G, Aradom S, Bulitta FS, Hjerpe E. Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport. *Biosystems Engineering*, 2011; (110), 10-19.
108. Miranda-de la Lama GC, Monge P, Villarroel M, Olleta JL, García-Belenguer S, María GA. Effects of road type during transport on lamb welfare and meat quality in dry hot climates. *Trop Anim Health Prod*, 2011; 43, 915-922.
109. Singh SP, Marcondes J. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. *Journal of Testing and Evaluation*, 1992; 20(6), 466-469.
110. Phillips CJC. The welfare of livestock during sea transport. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK, CABI, 2008; pp. 137-154.

111. Kettlewell PJ, Hoxey RP, Hampson CJ, Green NR, Veale BM, Mitchell MA. Design and operation of a prototype mechanical ventilation system for livestock transport vehicles. *J. Agric. Engng Res*, 2001; (79), 429-439.
112. Wikner I, Gebresenbet G, Nilsson C. Assessment of air quality in a commercial cattle transport vehicle in Swedish summer and winter conditions. *DTW. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 2003; 110(3), 100-104.
113. Dahl-Pedersen, K. Danish cattle farmers' experience with fitness for transport– A questionnaire survey. *Frontiers in Veterinary Science*, 2022; 9.
114. Pulido MA, Mariezcurrena-Berasain MA, Sepúlveda W, Rayas-Amor AA, Salem AZ, Miranda-de la Lama GC. Hauliers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare could influence the operational and logistics practices in sheep transport. *Journal of Veterinary Behavior*, 2018; 23, 25-32.
115. Häkkänen H, Summala H. Fatal traffic accidents among trailer truck drivers and accident causes as viewed by other truck drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 2001; 33, 187-196.
116. Hanowski RJ, Pérez M, Dingus TA. Driver distraction in long-haul truck drivers: Transportation research part F. *Traffic Psychology and Behaviour*, 2005; 8, 441-458.
117. Cockram MS, Baxter EM, Smith LA, Bell S, Howard CM, Prescott RJ, Mitchell MA. Effect of driver behaviour, driving events and road type on the stability and restingbehaviour of sheep in transit. *Animal Science*, 2004; (79), 165-176.
118. Boivin X, Lensink J, Tallet C, Veissier I. Stockmanship and farm animal welfare. *Animal welfare-potters bar then wheathampstead*, 2003; 12(4), 479-492.
119. Schwartzkopf-Genswein K, Haley DB, Church S, Woods J, O'byrne T. An education and training programme for livestock transporters in Canada. *Vet Ital*, 2008; (44), 273-283.
120. Woods J, Grandin T. Fatigue: a major cause of commercial livestock truck accidents. *Vet Ital*, 2008; (44): 259-62.
121. Miranda-de la Lama GC, Sepulveda WS, Villarroel M, María GA. Livestock vehicle accidents in Spain: causes, consequences, and effects on animal welfare. *Journal Applied Animal Welfare Science*, 2011; (14), 109-123.
122. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Estadísticas de Accidentes de Tránsito – Año 2019. Disponible en: <https://www.sct.gob.mx/carreteras/dirección-general-de-servicios->

tecnicos/estadística-de-accidentes-de-transito/ano-2019/. Fecha de acceso: Noviembre, 2021.

123. Darwent D, Roach G, Dawson D. How well do truck drivers sleep in cabin sleeper berths? *Applied Ergonomics*, 2012; (43), 442-446.
124. Noffsinger T, Lukasiewicz K, Hyder L. Feedlot processing and arrival cattle management. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 2015; 31, 323-340.
125. Loerch SC, Fluharty FL. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 1999; 77, 1113-1119.
126. Knowles T, Warriss P, Vogel KD. Stress physiology of animals during transport. In: *Livestock Handling and Transport*, 4th ed.; Grandin T, Ed.; CABI: Wallingford, UK, 2014; pp. 399-420. ISBN 978-1-78064-321-2.
127. González LA, Schwartzkopf-Genswein KS, Bryan M, Silasi R, Brown F. Relationships between transport conditions and welfare outcomes during commercial long haul transport of cattle in North America. *Journal of Animal Science*, 2012b; 90(10), 3640-3651.
128. Bravo V, Gallo C, Acosta-Jamett G. Effects of short transport and prolonged fasting in beef calves. *Animals*, 2018; 8, 170.
129. Yoshihara Y, Ogawa Y. Handling stress-induced ruminal microbiota changes reduce grass hay degradability in sheep. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2021 ;30(2), 159-164.
130. Devant M, Marti S. Strategies for feeding unweaned dairy beef cattle to improve their health. *Animals*, 2020; 10(10), 1908.
131. Du GC, Galyean ML. Board-invited review: Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 2007; 85, 823-840.
132. Wilms JN, Leal LN, Martín-Tereso J. Short communication: Hypernatremia in diarrheic calves associated with oral electrolyte administration in water and milk replacer in absence of access to water. *J. Dairy Sci.*, 2020; 103, 5495–5500.
133. Preston RL. Receiving cattle nutrition. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 2007; 23, 193-205.
134. Marcato F, van den Brand H, Kemp B, Engel B, Wolthuis-Fillerup M, van Reenen K. Effects of pretransport diet, transport duration, and type of vehicle on physiological status of young veal calves. *Journal of Dairy Science*, 2020; 103(4), 3505-3520.

135. Pupo E, Gómez RL, Campaña MIR. Estrés oxidativo. *Correo Científico Médico*, 2017; 21(1), 171-186.
136. Parker AJ, Hamlin GP, Coleman CJ, Fitzpatrick LA. Quantitative analysis of acid-base balance in *Bos indicus* steers subjected to transportation of long duration. *J Anim Sci*, 2003; 81, 1434-1439.
137. Ackermann MR, Derscheid R, Roth JA. Innate immunology of bovine respiratory disease. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*, 2010; 26, 215.
138. Van Engen NK, Coetzee JF. Effects of transportation on cattle health and production: a review. *Animal Health Research Reviews*, 2018; 19(2), 142-154.
139. Hay KE, Morton JM, Clements ACA, Mahony TJ, Barnes TS. Population level effects of risk factors for bovine respiratory disease in Australian feedlot cattle. *PVM*, 2017; 140, 78-86.
140. Fulton RW. Bovine respiratory disease research (1983-2009). *Animal Health Research Reviews*, 2009; 10, 131-139.
141. Wisnieski L, Amrine DE, Renter DG. Predictive modeling of bovine respiratory disease outcomes in feedlot cattle: A narrative review. *Livestock Science*, 2021; 251, 104666.
142. Kondakova I, Vologzhanina E, Lomova J, Kryuchkova N. Causes of diseases of the digestive system of the young cattle. In *E3S Web of Conferences*, 2020; (Vol. 222, p. 02013). EDP Sciences.
143. Babcock AH, Cernicchiaro N, White BJ, Dubnicka SR, Thomson DU, Ives SE, Renter DG. A multivariable assessment quantifying effects of cohort-level factors associated with combined mortality and culling risk in cohorts of US commercial feedlot cattle. *Prev Vet Med*, 2013; 108, 38-46.
144. Sutherland AM, Erlandson K, Connor FJ, Salak-Johnson LJ, Matzat P, Smith FJ, McGlone JJ. Health of non-ambulatory, non-injured pigs at processing. *Livestock Science*, 2008; 116, 237-245.
145. Blakebrough-Hall C, McNeniman JP, González LA. An evaluation of the economic effects of bovine respiratory disease on animal performance, carcass traits, and economic outputs in feedlot cattle defined using four BRD diagnosis methods. *J. Anim. Sci.*, 2020; 98(2) skaa005.
146. Caswell JL. Failure of respiratory defenses in the pathogenesis of bacterial pneumonia of cattle. *Vet. Pathol.* 2014; 51, 393-409.

147. McEwen BS, Biron CA, Brunson KW. The role of adrenocorticoids as modulators of immune function in health and disease: neural, endocrine and immune interactions. *Brain Res Rev*, 1997; 23, 79-133.
148. Ramírez RR, Chavarría MB, López MA, Rodríguez TLE, Nevárez GAM. Presencia del virus de la diarrea viral bovina y su asociación con otros cuadros patológicos en ganado en corral de engorda. *Veterinaria México*, 2012; 43, 225-234.
149. Hay KE, Barnes TS, Morton JM. Risk factors for bovine respiratory disease in Australian feedlot cattle: use of a causal diagram-informed approach to estimate effects of animal mixing and movements before feedlot entry. *Prev Vet Med*, 2014; 117, 160-169.
150. Griffin CM, Scott JA, Karisch BB, Woolums AR, Blanton JR, Kaplan RM, Smith DR. A randomized controlled trial to test the effect of on-arrival vaccination and deworming on stocker cattle health and growth performance. *The Bovine Practitioner*, 2018; 52(1), 26.
151. Liebler-Tenorio EM. Pathogenesis. In: Goyal SM, Ridpath JF, editors. *Bovine Viral Diarrhea Virus. Diagnosis, Management and Control*. Ames, Iowa: Blackwell Publishing Professional, 2005; 121-143.
152. Nilson SM, Workman AM, Sjeklocha D, Brodersen B, Grotelueschen DM, Petersen JL. Upregulation of the type I interferon pathway in feedlot cattle persistently infected with bovine viral diarrhoea virus. *Virus Research*, 2020; 278, 197862.
153. Ponce M. Transport of animals in Argentina, Uruguay and Paraguay. Report for the World Society for the Protection of Animals. 2006.
154. Fulton RW, Blood KS, Panciera RJ, Payton ME, Ridpath JF, Confer AW. Lung pathology and infectious agents in fatal feedlot pneumonias and relationship with mortality, disease onset, and treatments. *J Vet Diagn Invest*, 2009; 21, 464-477.
155. Parker AJ, Dobson GP, Fitzpatrick LA. Physiological and metabolic effects of prophylactic treatment with the osmolytes glycerol and betaine on *Bos indicus* steers during long duration transportation. *Journal of Animal Science*, 2007; 85(11), 2916-2923.
156. Mráček T, Pecina P, Vojtíšková A, Kalous M, Šebesta O, Houštěk, J. Two components in pathogenic mechanism of mitochondrial ATPase deficiency: energy deprivation and ROS production. *Exp Gerontol*. 2006; 41(7), 683-687.

157. Alfaro GF, Novak TE, Rodning SP, Moisés SJ. Preconditioning beef cattle for long-duration transportation stress with rumen-protected methionine supplementation: A nutrigenetics study. *PloS One*, 2020; 15(7), e0235481.
158. Losada-Espinosa N, Villarroel M, Maria GA, Miranda-de la Lama GC. Pre-slaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary monitoring systems: A systematic review. *Meat Science*, 2018; 138, 34-48.
159. Mota RD, Roldan SP, Trujillo OME, Guerrero LI, Ramírez NR. 2012. Fisiopatología del estrés *antemortem* en cerdos, Universidad Autónoma Metropolitana, Primera Edición, Núm. 104. México, D.F.
160. González LA, Ferret A, Manteca X, Ruiz-de-la-Torre JL, Calsamiglia S, Devant M, Bach A. Effect of the number of concentrate feeding places per pen on performance, behavior, and welfare indicators of Friesian calves during the first month after arrival at the feedlot. *Journal of Animal Science*, 2008; 86, 419-431.
161. Galindo F, Newberry RC, Mendl M. Social conditions. In Appleby MC, Mench J, Olsson A, Hughes BO, editors, *CABI International, Animal Welfare* pp. 228-245. Oxfordshire, U.K. 2011.
162. Gutmann AK, Špinko M, Winckler C. Long-term familiarity creates preferred social partners in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 2015; 169, 1-8.
163. Estévez I, Andersen I, Naevdal E. Group size, density and social dynamics in farm animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 2007; 103, 185-204.
164. Galindo F, Broom DM. The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. *Res Vet Sci*, 2000; 69, 75-79.
165. Madella-Oliveira AF, Quirino CR, Ruiz-Miranda C, Fonseca FA. Social behaviour of buffalo heifers during the establishment of a dominance hierarchy. *Livestock Science*, 2012; 146, 73-79.
166. Kondo S, Kawakami N, Kohama H, Nishino S. Changes in activity, spatial pattern and social behavior in calves after grouping. *Applied Animal Ethology*, 1984; 11, 217-228.
167. Salvin HE, Lees AM, Cafe LM, Colditz IG, Lee C. Welfare of beef cattle in Australian feedlots: A review of the risks and measures. *Animal Production Science*, 2020; 60(13), 1569-1590.
168. Hemsworth PH, Coleman GJ. 2011. *Human-livestock interactions: The stockperson and the productivity of intensively farmed animals*. 2nd edition. CABI International, Wallingford, UK.

169. Mellor D. Updating animal welfare thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “a Life Worth Living”. *Animals*, 2016; 6(3), 21.
170. Beach H, Stammler F. Human-animal relations in pastoralism. *Nomadic Peoples*, 2006; 10(2), 6-29.
171. Burton R, Peoples S, Cooper M. Building ‘cowshed cultures’: A cultural perspective on the promotion of stockmanship and animal welfare on dairy farms. *Journal of Rural Studies*, 2012; 28(2), 174-187.
172. Kauppinen T, Valros A, Vesala K. Attitudes of dairy farmers toward cow welfare in relation to housing, management, and productivity. *Anthrozoös*, 2013; 26(3), 405-420.
173. Werkheiser I. Precision livestock farming and farmers’ duties to livestock. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 2018; 31(2), 181-195.
174. Losada-Espinosa N, Miranda-De la Lama GC, Estévez-Moreno LX. Stockpeople and animal welfare: Compatibilities, contradictions, and unresolved ethical dilemmas. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 2020; 33(1), 71-92.
175. Domiciano LF, Mombach MA, Carvalho P, Silva NMF, Pereira DH, Cabral LS, Lopes LB, Pedreira BC. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Anim. Prod. Sci.*, 2016; 58, 920-929.
176. Schütz KE, Rogers AR, Poulouin YA, Cox NR, Tucker CB. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 2010; 93, 125-133.
177. Giro A, Pezzopane JRM, Junior WB, de Faria Pedroso A, Lemes AP, Botta D, Garcia AR. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of the Total Environment*, 2019; 684, 587-596.
178. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.*, 2010; 130, 57-69.
179. St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 2003; 86, E52-E77.
180. Thamo T, Addai D, Pannell DJ, Robertson MJ, Thomas DT, Young JM. Climate change impacts and farm-level adaptation: economic analysis of a mixed cropping–livestock system. *Agric. Syst.*, 2017; 150, 99-108.

181. Brown-Brandl TM. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2018; 47.
182. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci*, 2000; 67: 1-18.
183. Watts PR, McLean JA. Resolution of body temperature cycles in calves using precision whole animal calorimetry. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*, 1977; 8, 368-372.
184. Blache D, Terlouw C, Maloney KS. Physiology. In Appleby M.C., Mench J., Olsson A., and Hughes B.O., CABI International, *Animal Welfare* pp. 155-182. Oxfordshire, U.K. 2011.
185. Mader TL. Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science*, 2003; 81(14), E110-E119.
186. Igoshin AV, Yurchenko AA, Belonogova NM, Petrovsky DV, Aitnazarov RB, Soloshenko VA, Yudin NS, Larkin DM. Genome-wide association study and scan for signatures of selection point to candidate genes for body temperature maintenance under the cold stress in Siberian cattle populations. *BMC Genet.*, 2019; 20, 5-14.
187. Igoshin A, Yudin N, Aitnazarov R, Yurchenko AA, Larkin DM. Whole-genome resequencing points to candidate DNA loci affecting body temperature under cold stress in Siberian cattle populations. *Life*, 2021; 11(9), 959.
188. Hansen PH. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim Reprod Sci*, 2014; 82-83, 349-360.
189. Mancitelli BF. Implicações da isponibilidade de espaço no confinamento de bovinos de corte. Tesis doctoral, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. São Paulo, Brasil. 2015.
190. Lees AM, Lees JC, Sejian V, Sullivan ML, Gaughan JB. Influence of shade on panting score and behavioural responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* feedlot cattle to heat load. *Animal Production Science*, 2019; 60(2), 305-315.
191. Van IE, Henri MCP, Sonck B, Tuytens FA. Importance of outdoors shelter for cattle in temperate climates. *Livestock Science*, 2014; 159, 87.
192. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

- en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2018.
193. Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 2002; 77, 59-91.
194. Animal Welfare Approved. 2018. Animal Welfare Approved Standards for Beef Cattle. Disponible en: <https://agreenerworld.org/wp-content/uploads/2019/02/AWABeef-Cattle-Standards-2018-v3.pdf>. Fecha de acceso: Noviembre, 2020.
195. Food Alliance. 2018. Beef cattle and bison evaluation tool. Disponible en: <http://foodalliance.org/livestock-producers/>. Fecha de acceso: Noviembre, 2020.
196. Verified Beef Production Plus (VBP+). 2019. Producer manual. Version 1.6. Disponible en: http://verifiedbeefproductionplus.ca/files/producer-resources/VBP_Producer_Manual_combined_V_1.6_and_V_7.8_Feb_13_2019.pdf. Fecha de acceso: Noviembre, 2020.
197. Federation of Animal Science Societies (FASS). 2010. Guide for care and use of agricultural animals in research and teaching. 3rd ed. Champaign (IL): Federation of Animal Science Societies.
198. Zhao S, Liu L, Chen H. Factors influencing the occupational wellbeing of experienced nurses. *Int. J. Nurs. Midwifery Sci.*, 2015; 2(4), 378-382.
199. Hansson H, Lagerkvist CJ. 2016. Dairy farmers' use and non-use values in animal welfare: determining the empirical content and structure with anchored best-worst scaling. *J. Dairy Sci.*, 2016; 99(1), 579-592.
200. Mitlöhner FM, Galyean ML, McGlone JJ. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *J Anim Sci*, 2002; 80, 2043-2050.
201. Rovira PJ. The effect of type of shade on physiology, behaviour and performance of grazing steers. *Animal: International Journal of Animal Bioscience*, 2013. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) – Estación Treinta y Tres, Uruguay.
202. Larios-Cueto, S., Ramírez-Valverde, R., Aranda-Osorio, G., Ortega-Cerrilla, M. E., & García-Ortiz, J. C. (2019). Stress indicators in cattle in response to loading, transport and unloading practices. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 885-902.

203. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Seguridad Vial / Capacitación. Disponible en: <https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/videos-de-capacitacion-sobre-autotransporte-federal/>. Fecha de acceso: Mayo, 2022.
204. Gobierno de México. Puntos de Verificación e Inspección (PVI). Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/prensa/puntos-de-verificacion-e-inspeccion-pvi>. Fecha de acceso: Mayo, 2022.
205. Fukasawa M, Kawahata M, Higashiyama Y, Komatsu T. Relationship between the stockperson's attitudes and dairy productivity in Japan. *Animal Science Journal*, 2017; 88, 394-400.
206. Miranda-de la Lama GC, Rodríguez-Palomares M, Cruz-Monterrosa RG, Rayas-Amor AA, Pinheiro RSB, Galindo FM, Villarroel M. Long-distance transport of hair lambs: Effect of location in pot-belly trailers on thermo-physiology, welfare and meat quality. *Tropical Animal Health and Production*, 2018; 50(2), 327-336.
207. Thomson DU, Loneragan GH, Henningson JN, Ensley S, Bawa B. Description of a novel fatigue syndrome of finished feedlot cattle following transportation. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2015; 247(1), 66-72.
208. Earley, B., Sporer, K. B., & Gupta, S. Invited review: Relationship between cattle transport, immunity and respiratory disease. *Animal*, 2017; 11(3), 486-492.
209. Timsit E, Dendukuri N, Schiller I, Buczinski S. Diagnostic accuracy of clinical illness for bovine respiratory disease (BRD) diagnosis in beef cattle placed in feedlots: a systematic literature review and hierarchical Bayesian latent-class meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 2017; 135, 67-73.
210. Weary DM, Huzzey JM, Von Keyserlingk MAG. Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. *Journal of Animal Science*, 2009; 87(2), 770-777.
211. Bautista-Fernández M, Estévez-Moreno LX, Losada-Espinosa N, Villarroel M, María GA, De Blas I, Miranda-de La Lama GC. Claw disorders as iceberg indicators of cattle welfare: Evidence-based on production system, severity, and associations with final muscle pH. *Meat Science*, 2021; 177, 108496.
212. Marchesini G, Mottaran D, Contiero B, Schiavon E, Segato S, Garbin E, Andrighetto, I. Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. *The Veterinary Journal*, 2018; 231, 41-47.

213. Edwards-Callaway LN, Cramer MC, Cadaret CN, Bigler EJ, Engle TE, Wagner JJ, Clark DL. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *Journal of Animal Science*, 2021; 99(2), skaa375.
214. Binns P, Petrov R, Lott S. Feedlot shade design – literature review. 2002. Report No.: FLOT.315 final report. North Sydney (NSW, Australia): E.A. Systems Pty Limited.

8. ANEXOS

8.1. Revisión bibliográfica publicada

Publicación:

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.4767>

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.4767>

Revisión bibliográfica



Implicaciones, tendencias y perspectivas del transporte de larga distancia en el ganado bovino. Revisión



Marcela Valadez Noriega ^{aa}

Genaro Cvabodni Miranda de la Lama ^b

^a Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Coyoacán, Ciudad de México, México.

^b Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: mvz.mvaladez@outlook.com

Resumen:

El creciente comercio internacional, el crecimiento poblacional y su consecuente demanda de proteínas de origen animal en los países en vías de desarrollo y emergentes, han dado lugar a un considerable aumento en el número de animales criados, transportados y procesados en todo el mundo. Esto ha derivado en un aumento de la distancia recorrida y el tiempo de viaje, estimulando ciertas mejoras en la infraestructura ganadera; camiones con mayor autonomía; capacidad de carga y adaptados a las necesidades biológicas de los animales; reducción de costos de operación; y liberalización de restricciones zoonosológicas que facilitan el comercio internacional. La presente revisión hace un análisis pormenorizado y actualizado del transporte de larga distancia con una visión de conjunto. Si se toma en cuenta que la tendencia actual es aumentar el tiempo del transporte, escalas logísticas y transportes mixtos, es necesario desarrollar sistemas de evaluación y toma de decisiones con herramientas y protocolos que minimicen el coste biológico en el ganado bovino.

Palabras clave: Bienestar animal, Transportes larga distancia, *Bos indicus*, *Bos taurus*, Calidad de carne.

IMPLICACIONES, TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS DEL TRANSPORTE DE LARGA DISTANCIA EN EL GANADO BOVINO. REVISIÓN

Marcela Valadez Noriega^{a*},

Genaro Cvabodni Miranda de la Lama^b

^aUniversidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Coyoacán, Ciudad de México, México.

^bUniversidad Autónoma Metropolitana. Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: mvz.mvaladez@outlook.com

Resumen:

El creciente comercio internacional, el crecimiento poblacional y su consecuente demanda de proteínas de origen animal en los países en vías de desarrollo y emergentes, han dado lugar a un considerable aumento en el número de animales criados, transportados y procesados en todo el mundo. Esto ha derivado en un aumento de la distancia recorrida y el tiempo de viaje, estimulando ciertas mejoras en la infraestructura ganadera; camiones con mayor autonomía; capacidad de carga y adaptados a las necesidades biológicas de los animales; reducción de costos de operación; y liberalización de restricciones zoonosológicas que facilitan el comercio internacional. La presente revisión hace un análisis pormenorizado y actualizado del transporte de larga distancia con una visión de conjunto. Si se toma en cuenta que la tendencia actual es aumentar el tiempo del transporte, escalas logísticas y transportes mixtos, es necesario desarrollar sistemas de evaluación y toma de decisiones con herramientas y protocolos que minimicen el coste biológico en el ganado bovino.

Palabras clave: Bienestar animal; Transportes larga distancia; *Bos indicus*; *Bos taurus*; Calidad de carne.

Recibido: 14/02/2018

Aceptado: 24/07/2019

Introducción

El transporte es una etapa inevitable en la vida de un animal de producción con fines diversos como la cría, engorda, venta, matanza, reproducción y espectáculo⁽¹⁾. Numerosas evidencias indican que el transporte es un procedimiento novedoso, invasivo, aversivo y muy exigente en términos físicos para los animales⁽²⁾. Incluyendo estímulos novedosos como señales sonoras, visuales y olfativas; mezcla social; vibración; variaciones de temperatura; riesgo de lesión, restricción espacial, ayuno y acceso limitado a agua⁽³⁾. El efecto directo del transporte tiene implicaciones en el bienestar, salud animal y calidad de la carne⁽⁴⁾. Actualmente existe un interés creciente de la cadena de producción de carne por la inocuidad y calidad de los alimentos, se busca incorporar compromisos de producción sostenible y promover el bienestar animal en la búsqueda del nuevo concepto de calidad^(5,6).

En algunos países debido a las condiciones climáticas, la producción interna es limitada y la importación de ganado en pie es necesaria para abastecer a los mercados cárnicos. En otros, los centros de cría y engorda se encuentran distantes unos de otros, debido a la disponibilidad de alimento y condiciones climáticas en donde los animales nacen y son criados en zonas de pastoreo debido a la disponibilidad de forraje a bajo costo, y son enviados para su finalización a centros de engorda intensiva. Otros países prefieren la importación de ganado en pie, ya que por motivos religiosos los animales deben estar vivos al momento del sacrificio Halal o Kosher^(9,10). Otros flujos transfronterizos de ganado tienen lugar debido a la atracción del valor agregado, tal es el caso de la certificación que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) mediante un etiquetado de “carne de vacuno mejorada”, lo que promueve la exportación de ganado en pie desde Canadá para su matanza en los Estados Unidos de América (EUA), con recorridos muy prolongados que resultan en pérdidas elevadas⁽¹¹⁾. Adicionalmente, la especialización por especie de muchos rastros que están situados en puntos estratégicos cercanos a los canales de comercialización, ha dado lugar a recorridos muy prolongados desde la granja hacia estos rastros⁽¹²⁾.

Es indispensable señalar la importancia económica que representa el comercio de exportación de animales en pie, el cual proporciona gran cantidad de empleos directos e indirectos, en el sector del transporte, logística y acopio. Sin embargo, es muy probable que una planificación regional a gran escala permitiría la redistribución de los centros de matanza cercanos a los lugares de producción, de tal manera que el tiempo de transporte fuera reducido, además de buscar la sustitución paulatina de la exportación de ganado en pie a exportación de carne⁽¹³⁾. Debido a la geografía, las condiciones comerciales y la distribución de los centros de producción ganadera en América Latina, los viajes de larga distancia son más una regla que una excepción. Las normativas de estos países suelen ser mucho más laxas en términos de distancia en comparación con las normativas europeas. El presente trabajo hace una revisión actualizada sobre el transporte de larga distancia de ganado desde una perspectiva de distintos países con situaciones muy particulares dadas por diferentes factores que serán mencionados como la ubicación geográfica del país; procesos previos al transporte; diseño, densidad de carga y micro-ambiente de los vehículos; así como las investigaciones actuales de los riesgos asociados al conductor y los efectos que pueden tener cada uno de estos factores sobre la cadena de la carne bovina.

Tipología de los viajes de larga distancia

Históricamente, el ganado para matanza inmediata había dominado el comercio, pero en el nuevo siglo ha habido un rápido crecimiento en la cantidad de ganado de “media engorda” al que se le busca dar valor agregado antes de la matanza mediante su engorda y finalización, incluyendo los machos del sector lechero.

Por ello, es cada vez más común que el ganado sea transportado varias veces durante su vida⁽¹⁴⁾, estimado 296 millones de cabezas de ganado bovino para carne transportadas a nivel mundial para el año 2005, algunos de ellos transportados más de una vez⁽¹¹⁾; las razones principales incluyen: venta para repoblación de hatos, cambio de dueño, búsqueda de fuentes de suministro más baratas o abundantes (pastos y agua), cría o remplazo de ganado para reproducción, abastecimiento de unidades de engorda intensivas, subastas, espectáculos y ferias ganaderas⁽¹⁾. El agrupamiento y el manejo inapropiado del ganado, sobre todo en aquellos extraídos

de sistemas extensivos, resulta en animales con altos niveles de estrés al inicio del viaje. Si el agrupamiento es prolongado, es conveniente darles tiempo para recuperarse en el corral pre-carga. Es importante destacar que animales con poco contacto con el humano o temperamento agresivo, tendrán mayores posibilidades de estresarse y lesionarse a los manejadores, debido a la respuesta excesiva o a la agresión inducida por el miedo^(9,15). Si bien no existen suficientes datos, se ha propuesto que la experiencia previa puede afectar la respuesta de miedo de un animal y puede ser responsable de los resultados variables reportados en los estudios de transporte⁽¹⁵⁾; aunque otros estudios han demostrado que el ganado más dócil pierde menos peso durante el transporte y tiende a una recuperación más rápida una vez que continúa con su ciclo productivo⁽¹⁶⁾.

Antiguamente el transporte de ganado con fines reproductivos era una necesidad para el mejoramiento genético; sin embargo, con las nuevas biotecnologías este transporte se volvió poco práctico. El punto de partida fue la inseminación artificial en especies domésticas, la cual toma origen en 1779, mientras que a partir de 1890 otra técnica reportada como exitosa es la transferencia de embriones⁽¹⁷⁾ y la fertilización *in vitro* en 1973⁽¹⁸⁾. A nivel mundial, más de 750,000 embriones se producen anualmente a partir de donantes superovuladas y más de 450,000 embriones se producen utilizando técnicas *in vitro*⁽¹⁷⁾. Si bien el desarrollo de estas tecnologías fue realizado con fines de mejoramiento genético, la cantidad de ganado que no debió ser transportado con fines de reproducción debe haber disminuido notablemente a partir del siglo XVIII, en el cual comenzaba tan solo la inseminación artificial. Por otra parte, las exposiciones, ferias y subastas siguen teniendo como esquema la presencia física del ganado, lo que hace que el transporte sea una constante; a nivel internacional existen esfuerzos para eliminar esta práctica usando un sistema vía internet o televisión⁽¹⁹⁾, ejemplo de ello son las subastas en Europa, EUA y recientemente en Argentina, Brasil y Colombia; en estas subastas, el transporte de los animales únicamente se realiza una vez que se tiene un comprador asegurado, sin embargo, este campo aún no ha sido estudiado y la información disponible es escasa por lo que representa un área importante de estudio al formar parte de la industria ganadera actual, en donde el uso de la tecnología facilita la comercialización

del ganado y se tiene la tendencia a disminuir o desaparecer manejos que sean innecesarios para los animales.

Los viajes de repoblación incluyen movimientos entre países, entre granjas del mismo país o dentro de una misma propiedad⁽²⁰⁾. Por ejemplo, México es el mayor socio comercial de EUA introduciendo animales en pie, el comercio consiste en animales con un mínimo de sangre de razas cebuinas para abastecer unidades de engorda o “feedlots” de dicho país⁽²¹⁾. Por otro lado, el abasto y consumo interno de México depende del ganado originario de la región tropical y subtropical del sureste y países de América Central⁽²²⁾, dicho abasto consiste en el traslado de animales en viajes de larga distancia de los cuales aún existe poca información. Es necesario profundizar más en la investigación de los viajes de repoblación sobre todo por las repercusiones en la salud y bienestar de los animales; de esta forma las autoridades competentes contarán con un antecedente para establecer reglas y regulaciones sobre las condiciones antes, durante y después del transporte, además de considerarse aspectos como el estado ideal de un animal para ser transportado, tiempos máximos de transporte y de restricción de agua y alimento dependiendo de la región⁽²³⁾.

Tendencias normativas internacionales

El transporte de ganado es una parte importante de las preocupaciones de los gobiernos, las organizaciones de protección animal y consumidores en general, debido a la percepción de una ausencia de bienestar en este eslabón de la cadena, así como las posibles consecuencias en la calidad e inocuidad del producto⁽²⁴⁾. Una mala imagen durante los viajes o el manejo de accidentes hacen que la percepción sobre las actividades de transporte sean adversas⁽²⁵⁾. Existe legislación bien intencionada que puede tener consecuencias negativas para los animales, las regulaciones en el transporte de ganado no siempre se desarrollan tomando en consideración aspectos básicos para su bienestar⁽²⁶⁾. Por ejemplo, bajo la regulación de Canadá, el ganado puede ser privado de agua hasta por 57 h. También es posible que a los animales se les prive de alimento hasta por 81 h totales en un viaje a un rastro federal⁽¹¹⁾.

La Comunidad Europea tiene la legislación más exigente del mundo, en lo que se refiere al transporte de ganado bovino en términos de bienestar animal, estableciendo una duración máxima de 14 h de viaje, seguido de una hora de descanso para beber agua, pudiendo continuar con otro viaje de 14 h más. La secuencia anterior puede repetirse cuando los animales hayan sido descargados, alimentados, provistos de agua y hayan tenido un descanso de al menos 24 h^(27,28). A pesar de lo anterior, más de un millón de ciudadanos de la Comunidad Europea pidieron, exigieron, un límite general de 8 h de transporte. El Parlamento Europeo adoptó una declaración que sostiene un límite de 8 h para transporte del ganado⁽³⁾. La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), desarrolló lineamientos para el bienestar en el transporte de ganado; sin embargo, los países signatarios y el sector exportador de ganado no están obligados a cumplirlos⁽²⁹⁾. Con panoramas muy opuestos, países como Sudáfrica, Kenia y algunos países de la Comunidad Europea tienen legislación bien desarrollada en materia de bienestar y transporte de ganado; por otra parte países de Centro y Sudamérica poseen un marco legislativo deficiente, con un nivel de cumplimiento bajo en donde el conocimiento de la legislación está ausente, incluso en las partes interesadas⁽³⁰⁾.

Factores de estrés asociados a viajes largos

Factores asociados al proceso pre-transporte

Las actividades asociadas al transporte inician con el acopio de animales, en algunos países el agrupamiento puede comenzar 48 h previas a la carga del ganado debido a que debe ser agrupado a lo largo de grandes extensiones territoriales. La cantidad y duración de diversas prácticas de manejo previas a la carga del ganado como la mezcla de animales, privación de comida y agua representa un desafío que predispone a la deshidratación y gasto de energía⁽³¹⁾.

Los animales en malas condiciones, no tienen la misma capacidad para soportar largas duraciones de transporte. Para la evaluación de animales que sí pueden ser transportados han sido desarrolladas algunas directrices similares a las utilizadas en Europa, éstas establecen que un animal puede viajar si: puede caminar normalmente, soportando peso en las cuatro patas; no padece ninguna enfermedad o lesión visible que pudiera dañarlo durante el transporte; puede mantenerse con el

grupo tanto en la carga como en la descarga; puede ver con por lo menos un ojo; y si no se encuentra en el último tercio de gestación⁽¹⁵⁾. El proceso de carga es más estresante que la descarga, pero los riesgos en la integridad física del animal son similares en ambos casos⁽³²⁾. La carga de animales y las primeras etapas del transporte causan altos niveles de estrés; después de este periodo los animales son capaces de adaptarse al viaje, sin embargo a las 12 h los animales se fatigan y comprometen su salud, por lo que el viaje debería de interrumpirse^(33,34). Los estresores iniciarán una cascada de reacciones en el organismo, con la activación del sistema simpático-adrenomedular y eje hipotalámico-pituitario-adrenal, provocando un incremento en los niveles de catecolaminas y glucocorticoides⁽³⁵⁾, además de marcados efectos sobre el sistema inmune, claramente visibles en los animales de viajes para repoblación. Otras repercusiones se pueden manifestar varias semanas después de viaje, como ausencia de crecimiento, baja ganancia de peso y mortalidad, sobre todo en animales jóvenes o recién destetados⁽³⁶⁾. La mayoría de las investigaciones sobre los efectos del transporte y su normatividad se han orientado a la distancia del viaje, por ejemplo, las 52 h máximas de viaje permitidas en Canadá antes del desembarque; las 28 h permitidas en EUA o las 30 h permitidas en la Unión Europea; sin embargo, es poco estudiado el tiempo total en que los animales se encuentran confinados en los vehículos, tiempo de espera antes de partir, tiempo de viaje, tipo de camino, cantidad y duración de paradas, tiempo de espera para descarga, entre otros^(37,38). Factores como el costo del transporte; especificaciones y diseño del camión; densidad de carga, vibraciones y movimiento; condiciones del micro-clima; condiciones climáticas y geográficas; planeación de rutas; factores asociados al conductor y riesgo de accidentes deben considerarse como un todo dentro de la logística del transporte⁽⁸⁾.

Diseño del transporte

Los vehículos para ganado deben ser diseñados, construidos y mantenidos de manera que protejan a los animales de las inclemencias del tiempo, temperaturas extremas, cambios adversos en las condiciones climáticas y lesiones. En general, se utilizan cuatro tipos de vehículos especializados: camiones pequeños ($\leq 3t$), unidades individuales ($>13m$ de longitud), semirremolques y doble semirremolque⁽³⁾. Para garantizar mayor confort durante el transporte son recomendables sistemas de bebederos y de ventilación, rampas personalizadas de acuerdo a la especie, techo,

pisos antideslizantes, paredes laterales que eviten que cualquier parte del animal salga del camión, separaciones abatibles que permitan la separación de grupos más pequeños y fáciles de manejar, puertas laterales de inspección y control de temperatura⁽³⁹⁾, sin embargo, el diseño del camión y su impacto en el bienestar ha sido pobremente estudiado⁽⁴⁰⁾. En Centro y Sudamérica los camiones pueden ser articulados o no, generalmente sin techo, con estructuras metálicas o de madera⁽¹³⁾. En países latinoamericanos existen leyes que pretenden evitar la crueldad hacia los animales, sufrimientos innecesarios y protegerlos. También existe una legislación sobre el transporte de animales para el consumo en la mayoría de los países, pero se ocupa principalmente de los requisitos sanitarios y de salud pública (limpieza de vehículos, inspección de salud animal *ante mortem* e inspección de carne *post mortem*), en lugar del bienestar de animales, tal es el caso de Paraguay, Perú, Colombia, Ecuador, Argentina, Venezuela y Uruguay⁽¹³⁾. En Brasil no existe legislación específica que regule el transporte de animales de granja, aunque la mayoría de las agencias gubernamentales y las grandes empresas de mataderos conocen las recomendaciones de la OIE. En México existe la “Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales”, la cual abarca diferentes especies animales, pero no está actualizada y cuyas especificaciones son pobres y poco específicas en cuanto al diseño del transporte. En Norte América, incluido México, el transporte de ganado generalmente se realiza en camiones con remolque conocidos como “pot-belly”⁽⁴¹⁾, poseen cubierta de aluminio y se encuentra dividido en cinco compartimentos: compartimento 1 (nariz), compartimento 2 (panza), compartimento 3 (cola o parte trasera), compartimento 4 (cubierta) y compartimento 5 (perrera o cocineta)⁽⁴²⁾. En Europa, lo más común son los camiones simples o con semi-remolque⁽⁴³⁾. La elección del camión dependerá en forma general del tipo y cantidad de ganado, las demandas específicas del mercado, duración del viaje y región geográfica⁽³⁾.

Densidad de carga

Desde el punto de vista económico, la densidad de carga puede incrementar o reducir los costos de operación por unidad⁽⁴⁴⁾. El espacio requerido por animal durante el transporte puede ser representado de tres formas: ($m^2/100\text{ kg}$), (kg/m^2) y por la cantidad de superficie utilizada por cada uno ($m^2/animal$). En otros estudios⁽⁴⁵⁾, concluyeron que el Espacio Disponible ($ED=m^2/animal$), y un coeficiente alométrico

que incluye el peso vivo del animal ($k=ED/PV^{0.6667}$) era un mejor indicador sobre la disponibilidad de espacio para realizar comparaciones entre estudios en lotes con un peso homogéneos. El área utilizada por animal es proporcional a su área de superficie, un bovino de 400kg debería transportarse en un área de $1.16m^2$ ⁽⁴⁵⁾.

Los conductores u operarios de la unidad deben de ser cuidadosos en cuanto a disponibilidad de espacio en sus camiones y tener conocimiento de las características de la especie a transportar (con cuernos o sin cuernos, animales de desecho, engorda, lecheros, recién destetados, etc.); lo anterior en conjunto con las limitaciones debidas al clima, permiten definir o alterar la densidad recomendada de carga⁽⁴⁶⁾. Cuando la densidad de carga es de menos animales por metro cuadrado, estos tienen más espacio para echarse, pero si la forma de conducir o las condiciones del camino son pobres, será más fácil que los animales pierdan el equilibrio⁽⁴⁷⁾. En un estudio, se observó que al permitir $170kg/m^2$ (densidad situada por debajo de lo recomendado por el Consejo de Bienestar de los Animales de Granja de la USDA $360kg/m^2$), los animales tienden a echarse durante el viaje⁽⁴⁸⁾. Eldridge y Winfield⁽⁴⁹⁾ examinaron los efectos de diferentes densidades sobre viajes largos, y aunque no se observaron efectos en el pH último de la carne (pHu), la incidencia de hematomas fue mayor con las densidades más bajas y más altas.

Vibración, movimiento y fatiga del ganado

Durante el viaje, los animales se encuentran expuestos a vibraciones verticales, laterales y horizontales. Los caminos sin pavimento o con fuertes corrientes de viento transmiten una mayor cantidad de vibraciones a los animales y la sensibilidad a éstas aumenta después de largos periodos de pie⁽⁵⁰⁾, produciendo fatiga, pérdida del centro de gravedad y resultando en caídas y lesiones⁽⁵¹⁾, además de realizar un mayor esfuerzo buscando apoyarse en el camión durante el frenado⁽⁵²⁾. Los viajes de larga distancia son tan demandantes en términos fisiológicos, que suelen tener efectos en la relación neutrófilo/linfocito (N/L), elevando la probabilidad de que los animales padezcan infecciones oportunistas⁽⁵³⁾. Gebresenbet *et al*⁽⁵⁰⁾ colocaron sensores de vibración en un camión con sistema de suspensión de aire y encontraron que los mayores niveles de vibración en los animales fueron de $2.27 \pm 0.33 m/s^2$ sobre caminos con grava a 70 km/h. Las vibraciones en dirección horizontal y lateral fueron menores en los animales ubicados en posición perpendicular a la dirección del camino. La

exposición a vibraciones se puede reducir al evitar rutas en mal estado, caminos de grava o terracería, utilizar un camión que reciba mantenimiento y que sea operado por conductores entrenados.

Las etapas previas al viaje producen un gasto de energía adicional para hacer frente a las exigencias durante el transporte; sin embargo, los largos periodos de ayuno a los que son sometidos los animales, tendrá efectos negativos en la concentración de glucógeno muscular, dando lugar a un pHu elevado, que resultará en carne oscura, firme y seca o “dark, firm and dry” (DFD)^(34,54,55). En reportes recientes, se ha descrito el síndrome de fatiga del ganado o “fatigue cattle syndrome” (FCS), animales que desarrollan problemas de movilidad poco después de llegar a un matadero, similar al reportado en porcinos. El ganado manifiesta signos clínicos de taquipnea y dificultad respiratoria, pueden presentar cojeras, marcha rígida o posición de decúbito en ausencia de evidencia que indique lesión o enfermedad, además de concentraciones elevadas de lactato y de creatina quinasa (CK)⁽⁵⁶⁾.

Temperatura, micro-clima y ventilación

Estimaciones teóricas indican que en un remolque típico con densidad recomendada para bovinos de 500 kg, el calor producido en el interior sería de 13,400 watts, por lo que un sistema de ventilación es necesario⁽⁴⁾. Existen dos sistemas de ventilación: la ventilación pasiva (aberturas) y la activa (ventiladores). La pasiva está dada por aberturas a lo largo del camión y dependerá del movimiento y velocidad del camión⁽⁵⁷⁾. La activa, está controlada mediante sensores y utiliza ventiladores de extracción en entradas y salidas de aire⁽⁷⁾.

El micro-clima del camión (temperatura, humedad relativa e índice de temperatura y humedad) es afectado por el macro-clima, densidad de carga, flujo del aire, respiración, transpiración y secreciones de los animales, y tiene un amplio y potencial impacto en el bienestar, especialmente en condiciones ambientales adversas. En transportes de larga distancia aumenta la posibilidad de que los animales atraviesen distintas regiones climáticas⁽⁵⁸⁾. Por ejemplo, durante el transporte entre Canadá y EUA el rango de variación climática se encuentra entre -42 y 45 °C⁽³⁷⁾. En condiciones climáticas extremas, la temperatura dentro del camión tiene fuertes variaciones, por lo que el conductor debe estar pendiente de abrir o cerrar las aberturas de ventilación. En climas cálidos, la ventilación se dificulta por la densidad

del aire y se recomienda la colocación de dispositivos que registren temperatura y humedad para que el conductor pueda tomar decisiones durante el viaje⁽³⁶⁾, así como evitar detener el camión por largos periodos, pues la temperatura interna aumenta rápidamente debido a la temperatura externa, falta de ventilación y la temperatura emitida por el ganado. En viajes de más de un día en estas condiciones de temperatura, las pérdidas de peso del ganado son muy evidentes⁽⁵⁹⁾. En climas fríos puede aumentar la incidencia de morbilidad post-transporte y lesiones en tránsito ocasionadas por congelación de partes del cuerpo más susceptibles⁽⁴⁶⁾. En climas fríos, el uso de paja como material de cama se recomienda para mejorar el confort de los animales y para mantener una temperatura más cálida. Condiciones de humedad alta deben ser evitadas durante climas fríos o cálidos, ya que tiene efectos negativos en la capacidad de termorregulación de los animales^(60,61). Según el aumento en la temperatura corporal, el punto crítico superior de las ovejas y del ganado es de alrededor de 24 a 26°C. La mayoría de los mamíferos mueren cuando la temperatura corporal alcanza los 42 a 45°C, lo que supera la temperatura corporal normal en unos 3 a 6°C⁽⁶²⁾. La acumulación de amoníaco representa un riesgo en altas densidades y malas condiciones de ventilación, ya que se correlaciona con la temperatura y humedad presente en el aire⁽⁶²⁾.

Factores de riesgo asociados al conductor

La habilidad del conductor para controlar el camión afecta la calidad de la conducción. La aceleración, frenado, manejo en las curvas y forma de conducir afecta la habilidad de los animales para mantener una postura estable, incrementando la excitabilidad, reactividad y lesiones en los animales⁽⁶³⁾. Por otra parte, las principales causas de accidentes en carretera durante el transporte de ganado en España, EUA y México están relacionada con la fatiga y mala toma de decisiones del conductor, resultado de largas jornadas laborales, mal diseño de las rutas y alteraciones de los ciclos del sueño⁽²⁵⁾. Un análisis sobre las fallas y accidentes de camiones articulados identificó que la forma más común de accidentes asociada al conductor, está relacionada con un error en la toma de decisiones durante la conducción⁽⁶⁴⁾, por ejemplo, el número de accidentes durante el transporte de ganado en México es desconocido; se ha observado que los conductores en este país, frecuentemente viajan a altas velocidades que influyen en el fracaso para lidiar con el control del camión en las curvas y en otros obstáculos que pueden presentarse en el camino⁽¹¹⁾.

Otros factores incluyeron la edad de conductor, debido a la combinación de experiencia y buena salud, la edad ideal para conducir camiones es entre los 28 y 54 años, conductores menores de 27 años obtuvieron mayores rangos de accidente/fatalidad, rango que vuelve a incrementarse en conductores mayores de 63 años⁽⁶⁵⁾. El consumo de alcohol, fatiga, y problemas crónicos de salud como el sobrepeso o la obesidad, son otros factores asociados con el conductor^(66,67). En un estudio realizado en España la mayoría de los accidentes involucraron el transporte de porcinos (57%), bovinos (30%), aves (8%) y ovejas (5%)⁽²⁵⁾; mientras que en otro estudio en EUA y Canadá, Woods y Grandin⁽⁶⁸⁾, se encontró que la especie más afectada eran los bovinos (56%) y los porcinos (27%). El 59% de los accidentes ocurrieron entre las 2400 y las 0900 h y la mayoría fueron volcaduras, de manera similar a lo observado en un estudio realizado en México, en donde las volcaduras fueron el tipo de accidente más común (58.8%) en transportes de larga distancia de ganado bovino⁽⁶⁷⁾; este tipo de estudios se realizan de manera retrospectiva y se basan en el análisis de reportes de periódicos, noticias, así como la aplicación de encuestas a conductores^(67,68). En este tipo de accidentes, los animales sobrevivientes suelen encontrarse aturdidos, desorientados y pueden sufrir dolor, estados de miedo y ansiedad, lo que vuelve más complicado su manejo y aumenta el riesgo de generar accidentes secundarios⁽³⁾. Por lo anterior, el entrenamiento de los conductores debería ser una prioridad para la cadena logística, cubriendo aspectos de comportamiento y bienestar de los animales y factores relacionados con el funcionamiento mecánico de sus camiones⁽⁴⁶⁾. La industria ganadera debe tomar acciones para reducir la fatiga y por consiguiente el riesgo de accidentes, los cuales resultan en pérdida de vidas humanas y animales e importantes pérdidas económicas en la cadena logística del transporte de animales. La única estrategia efectiva para prevenir la acumulación de fatiga es una interacción ergonómica del diseño del vehículo, y asegurarse que los conductores obtengan constantemente un sueño adecuado y de buena calidad⁽⁶⁶⁾.

Rutas y geografía

Las condiciones geográficas tienen fuerte influencia en los sistemas de producción de ganado y en las oportunidades de comercializarlo. En algunos casos, la localización geográfica de un país permite o dificulta intercambios internacionales y requiere de una variedad de transportes diferentes⁽⁶⁹⁾. En países como Chile, el tiempo de transporte del ganado no puede ser reducido debido a la típica geografía chilena y

a la escasez de rutas apropiadas, encontrando tiempos de transporte de hasta 63 h⁽³⁶⁾. Brasil es otro ejemplo, con periodos muy prolongados de transporte debido a la extensión territorial⁽⁶⁾ y a la tendencia mundial de la reducción y especialización de las plantas de matanza⁽¹²⁾. Su sistema de redes de carreteras tiene más de 1.6 millones de km, y las condiciones del transporte varían dependiendo de las características geográficas. Gran parte de las carreteras se encuentran sin pavimentar y con frecuencia en malas condiciones, situación que se agrava sobre todo en época de lluvias, incrementando la duración del viaje, el número de camiones descompuestos, puentes rotos y accidentes en el camino⁽¹³⁾.

Impactos en el bienestar y la productividad

El efecto de los viajes prolongados sobre el ganado, es un tema de importancia en materia económica y de salud animal. Se ha demostrado que este tipo de viajes, como ocurre en la Patagonia Chilena, provocan pérdida significativa de peso corporal⁽³⁶⁾, prolongando la recuperación física del ganado en el destino final.

Pérdida de peso vivo, morbilidad y mortalidad

La pérdida de peso vivo en el ganado es probablemente el efecto económico más significativo del transporte. En un estudio con un grupo de novillas transportadas 518 km (8 h), con una temperatura ambiente máxima de 32.2°C, se redujo el peso vivo en un 6% luego del transporte⁽⁴⁸⁾. La pérdida de peso es el efecto más notorio en primera instancia; pero un factor elemental es el tiempo de recuperación transcurrido antes de comenzar a generar ganancia de peso en los animales trasladados a centros de engorda. Loerch y Fluharty⁽⁷⁰⁾ reportaron que un periodo de privación de alimento y agua por encima de las 72 h aunado a 8 h de transporte, reduce el total de protozoarios ruminales. Por otra parte, la deshidratación puede aparecer en animales transportados por largas distancias sobre todo en climas cálidos-secos o muy fríos, cuando el flujo del aire a través del camión es alto. La provisión de pequeñas cantidades de nutrientes o de electrolitos con una tonicidad correcta inmediatamente antes y después del transporte, reduce la deshidratación del tejido y el catabolismo de las proteínas musculares, el glucógeno y los lípidos, además de reducir los desequilibrios ácido-base y electrolíticos⁽⁷¹⁾.

Otra preocupación, es el riesgo que tienen los animales de enfermar o morir debido a la variabilidad de condiciones climáticas y exposición a toxinas, entre otros factores⁽⁵⁾. La muerte o enfermedad de los animales puede experimentarse durante el transporte con efectos incluso varias semanas después de haber llegado al lugar de destino. Una de las afecciones más importantes en el ganado bovino en sistemas intensivos es la enfermedad respiratoria del bovino o “bovine respiratory disease”. Esta enfermedad se presenta de forma más común en ganado joven, pero también se incrementa por el proceso de transporte a las unidades de engorda. En EUA se ha determinado que afecta al 14.4% del ganado que entra a las unidades de engorda⁽⁷²⁾. La respuesta inmune del ganado transportado generalmente se encuentra suprimida por las altas concentraciones de cortisol asociadas al estrés⁽⁷³⁾, por lo que la enfermedad suele manifestarse días o semanas posteriores a la llegada. Se debe tener especial cuidado con las lesiones que el ganado pudo haber sufrido durante el transporte, debiendo cuidar heridas abiertas y mantener en observación a los animales que presentan dificultad para desplazarse que deberán ser tratados con antiinflamatorios y analgésicos para facilitar su recuperación. El síndrome de fatiga del ganado antes mencionado, debe ser considerado en el caso de animales con problemas de movilidad inmediatamente después del transporte⁽⁵⁶⁾; este síndrome se acentúa en el ganado *Bos indicus*, que es más temperamental y tiende a echarse y “rendirse” en camiones con alta población de ganado⁽¹⁾, presentando mayor dificultad para adaptarse a las condiciones de confinamiento; sin embargo, hay poca información en la literatura sobre este síndrome y los trabajos realizados no muestran información consistente, por lo que se necesita mayor información al respecto. La mortalidad durante el transporte es el reflejo de un problema grave de bienestar, incluyendo no sólo animales muertos a la llegada (Death on arrival - DOA) sino también todos aquellos animales que aparentemente no presentan lesiones (Non ambulatory, non injured – NANI) que mueren posteriormente⁽⁷⁴⁾. Registros de mortalidad durante el transporte en condiciones comerciales y experimentales han demostrado que ésta puede incrementarse por temperaturas altas o muy bajas, viajes de larga distancia o en el transporte de animales muy jóvenes^(75,76). La mortalidad en el transporte es variable y dependiente de distintos factores. Animales que llegan a perder 10% de su peso corporal durante el transporte tienen mayor probabilidad de morir o convertirse en animales no ambulatorios. La mortalidad también aumenta con menor disponibilidad de espacio en el transporte^(37, 38).

Hematomas

Las lesiones y daños a la canal ocasionados por prácticas inadecuadas de transporte, o viajes de larga distancia afectarán la severidad de los hematomas y, por tanto, el grado de calidad de la canal y de la carne. De acuerdo con los requerimientos actuales del mercado, los animales deben ser transportados de una manera que evite este tipo de daños. La reducción en los daños a la canal sugeriría mejores condiciones de bienestar y por ende una mayor calidad ética del producto. La presencia de hematomas en la canal puede estar asociada a diferentes factores; durante un experimento, la cantidad de hematomas fue mayor en hembras que en machos, asimismo, las lesiones más severas se encontraron en vacas viejas y no en novillas, lo que podría deberse a que la mayoría de estas vacas tienen una condición corporal más baja (menos cantidad de músculo y grasa subcutánea); en este estudio los hematomas relacionados al transporte se observaron en color “rojo oscuro” y por tanto considerados de una edad menor o igual a 24 horas y fueron encontrados a los costados, alrededor de los huesos de la cadera (tuberosidad isquiática) lo cual puede relacionarse con el contacto que tienen el ganado con las paredes laterales del vehículo, hematomas que además se vieron incrementados conforme se incrementó la densidad animal⁽³¹⁾. En el caso de machos, el comportamiento de monta y “cabezazos” que son conductas comunes en el ganado de carne, se relacionan con un incremento en los hematomas sobre todo en los corrales de espera⁽⁷⁷⁾; para el estudio en cuestión, la aparición de este comportamiento no pudo relacionarse con hematomas.

Estrategias para disminuir el estrés en viajes de larga distancia

La producción y transporte de ganado en pie continuarán siendo estimulados por la creciente población humana⁽⁷⁸⁾, pero si se lograra la integración de las actividades dentro de la cadena logística se tendrían las siguientes ventajas: 1) reducción de distancia y tiempo mediante optimización de rutas; 2) mejorar el bienestar animal; 3) expandir el área de mercado para los productores; 4) disminuir los costos de operación e incrementar la competitividad; 5) reducir emisiones de dióxido de carbono (CO₂); 6) mejorar la trazabilidad para las autoridades y el consumidor; 7) estrechar la participación entre productores, distribuidores, comerciantes y consumidores; 8) promover el intercambio de conocimiento,

experiencia e información⁽⁷⁹⁾. Miembros importantes de la industria han comenzado a introducir sus propias políticas que permitan disminuir el estrés y mejorar las condiciones de bienestar para los animales destinados al abasto.

Farmacología aplicada al transporte

Diversos estudios han permitido la implementación de estrategias que mejoran las condiciones de los animales durante los transportes de larga distancia. Existen investigaciones que consideran la importancia del uso de algunos ingredientes y medicamentos como la dexametasona como apoyo en el tratamiento de algunos problemas asociados al transporte^(34,80). Se ha demostrado que la suplementación con Mg puede reducir los efectos del estrés pre-matanza y mejorar la calidad de la carne, debido a que suprime la estimulación neuromuscular⁽⁸¹⁾ y al adicionarse en la dieta, resulta en la atenuación de la secreción de glucocorticoides y catecolaminas⁽⁸²⁾. El triptófano (Trp) es el precursor de la serotonina, el cual regula un gran número de funciones biológicas incluyendo la temperatura, sensibilidad al dolor, comportamiento de alimentación, comportamiento sexual y de agresión⁽⁸³⁾; si bien sus efectos no han sido estudiados durante el transporte, cabe mencionar que las preparaciones que contienen triptófano se comercializan en todo el mundo como agentes calmantes para tratar caballos excitables⁽⁸⁴⁾.

La terapia de líquidos y electrolitos durante y después del transporte son importantes⁽¹⁾, incluso se ha demostrado que el proporcionar electrolitos al ganado antes de la matanza mejora el rendimiento de la canal, sin haber encontrado efectos sobre el pHu, color o capacidad de retención de agua⁽⁸⁵⁾, también reducen la deshidratación y la pérdida de peso asociada al transporte⁽⁸⁶⁾. Por otra parte, se ha comprobado que el uso de moduladores alostáticos (MA) podría mitigar el estrés causado por la captura y manejo del ganado durante el transporte; estos contienen sustancias como ácido ascórbico, ácido acetoxibenzóico, cloruro de sodio y cloruro de potasio, que adicionados 10g por animal durante 30 días antes de la matanza mostraron propiedades antiinflamatorias, disminución de estrés evaluado mediante parámetros fisiológicos y mayor estabilidad en el color de la carne a las 24 h y 28 días *post mortem*⁽⁸⁷⁾.

Conclusiones

Es claro que la distancia en el transporte es un componente estratégico de la economía agroalimentaria y producción cárnica global. Sin embargo, es necesario el desarrollo de lineamientos y tecnologías en materia de manejo, operaciones y logística tendientes a mejorar las condiciones de bienestar y la salud del ganado. El impacto del estrés en el funcionamiento biológico, el comportamiento y el sufrimiento de los animales fue subestimado en el pasado. Sin embargo, en el presente existe surge una visión en la producción animal orientada a una visión holística dirigida a integrar el bienestar animal en un concepto amplio de calidad. Para lo cual, es imprescindible invertir en mejoras dirigidas al establecimiento de programas logísticos que tengan al bienestar animal como eje de un programa de calidad operativa, además de legislación que regule los viajes de larga distancia basada en evidencias científicas y la utilización de vehículos con diseños que puedan ajustarse a diferentes condiciones climáticas y a las características y comportamiento de cada especie.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento del proyecto número 259327, dentro de la Convocatoria de Investigación Científica Básica 2015.

Literatura citada

1. Smith GC, Grandin T, Friend TH, Lay D, Swanson JC. Effect of transport on meat quality and animal welfare of pigs, sheep, horses, deer and poultry, 2004; Disponible en: <http://www.grandin.com/behaviour/effect.of.transport.html>. Visitado: octubre de 2016.
2. Lambooij E, Vander Werf JTN, Reimer HGM, Hindle VA. Compartment height in cattle transport vehicles. *Livestock Science*, 2012; (148): 87-94.
3. Miranda-de la Lama GC, Villarroel M, María GA. Livestock transport from the perspective of the pre-slaughter logistic chain: a review. *Meat Science*, 2014; (98): 9-20.

4. Kettlewell PJ, Hoxey RP, Hampson CJ, Green NR, Veale BM, Mitchell MA. Design and Operation of a Prototype Mechanical Ventilation System for Livestock Transport Vehicles. *J. Agric. Engng Res*, 2001; (79): 429-439.
5. Speer NC, Slack G, Troyer E. Economic factors associated with livestock transportation. *J AnimSci*, 2001; (79): E166-E170.
6. Paranhos da Costa MJR, Huertas SM, Gallo C, Dalla Costa OA. Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits. *Meat Science*, 2012; (92): 221-226.
7. Miranda-de la Lama GC. Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*, 2013; (44): 31-56.
8. Soysal M, Bloemhof-Ruwaard JM, Van del Vors JGAJ. Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *Int. J. Production Economics*, 2014; (152): 57-70.
9. Aghwan ZA, Bello AU, Abubakar AA, Imlan JC, Sazili AQ. Efficient halal bleeding, animal handling, and welfare: A holistic approach for meat quality. *Meat Science*, 2016; (121): 420-428.
10. Fuseini A, Wotton SB, Hadley PJ, Knowles TG. The perception and acceptability of pre-slaughter and post-slaughter stunning for Halal production: The views of UK Islamic scholars and Halal consumers. *Meat Science*, 2017; (123): 143-150.
11. Engebretson M. North America. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 218-260.
12. Ljungberg D, Gebresenbet G, Aradom S. Logistics chain of animal transport and slaughterhouse operations. *Biosystems Engineering*, 2007; (96): 267-277.
13. Gallo CB, Tadich TA. Southamerica. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 261-287.
14. Van Donkersgoed J, Jewison G, Bygrove S, Gillis K, Malchow D, McLeod G. Canadian beef quality audit 1998–99. *Canadian Veterinary Journal*, 2001; (42): 121-126.

15. Fisher DA, Colditz GI, Lee C, Ferguson MD. The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *Journal of Veterinary Behavior*, 2009a; (4): 157-162.
16. Colditz IG, Watson DL, Kilgour R, Ferguson DM, Prideaux C, Ruby J, Kirkland PD, Sullivan K. Impact of animal health and welfare research within the CRC for Cattle and Beef Quality on Australian beef production. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2006; (46): 233-244.
17. Mapletoft RJ. History and perspectives on bovine embryo transfer. *Anim. Reprod*, 2013; 10: 168-173.
18. Trounson A. Development of in vitro fertilization in Australia. *Fertility and Sterility*, 2018; 110: 19-24.
19. Zimmerman, L. C., Schroeder, T. C., Dhuyvetter, K. C., Olson, K. C., Stokka, G. L., Seeger, J. T., & Grotelueschen, D. M. (2012). The effect of value-added management on calf prices at superior livestock auction video markets. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 128-143.
20. Fisher MW, Jones BS. Australia and New Zealand. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2009b; pp. 324-350.
21. Ramírez-Romero R, Ramírez-Hernández C, García-Márquez LJ, Macedo-Barragán RJ, Martínez-Burnes J, López-Mayagoitia A. Bovine diseases causing neurological signs and death in Mexican feedlots. *Trop Anim Health Pro*, 2014; (46): 823-829.
22. Peel DS, Mathews Jr. KH, Johnson RJ. Trade, the expanding Mexican beef industry, and feedlot and stocker cattle production in Mexico. LDP-M-206-01. Economic Research Service USDA, 2011.
23. Cox JH, Lennkh S. Chapter 3: Keeping of Animals/Care of Animals. In: *Model Animal Welfare Act: A Comprehensive Framework Law-*. Boston, USA., World Animal Net, 2016; pp. 94-105.
24. Cruz-Monterrosa GR, Reséndiz-Cruz V, Rayas-Amor AA, López M, Miranda-de la Lama GM. Bruises in beef cattle at slaughter in Mexico: implications on quality, safety and shelf life of the meat. *Trop Anim Health Prod.*, 2016; DOI 10.1007/s11250-016-1173-8.

25. Miranda-de la Lama GC, Sepulveda WS, Villarroel M, María GA. Livestock vehicle accidents in Spain: causes, consequences, and effects on animal welfare. *Journal Applied Animal Welfare Science*, 2011a; (14): 109-123.
26. Appleby MC. *Science of Animal Welfare*. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 1–14.
27. Diario Oficial de la Comunidad Europea (DOCE). Reglamento CE N° 1/2005 del Consejo de 22 de diciembre de 2004 relativo a la protección de los animales durante el transporte y las operaciones conexas por el que se modifican las directivas 64/432/CEE y 93/119/CE y el reglamento (CE) n° 1255/97. *Diario Oficial de la Unión Europea* L3/1–L3/44 (05 Enero 2005).
28. Cussen VA. Enforcement of Transport Regulations: the EU as Case Study. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 113-133.
29. World Organization for Animal Health (OIE). World Organisation for Animal Health- Terrestrial Animal Health Code: Chapter 7. 2. Transport of Animals by Sea. Disponible en: <http://www.oie.int/en/internationalstandard-setting/terrestrial-code/access-online/>. Visitado: noviembre de 2016.
30. Menczer K. Africa. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 182-211.
31. Hoffman LC, Lühl J. Causes of cattle bruising during handling and transport in Namibia. *Meat Science*, 2012; (92): 115-124.
32. María GA, Villarroel M, Chacon G, Gebresenbet G. Scoring system for evaluating the stress to cattle of commercial loading and unloading. *Veterinary Record*, 2004; (154): 818-821.
33. Pettiford SG, Ferguson DM, Lea JM, Lee C, Paull DR, Reed MT. The effect of loading practices and 6 hour road transport on the physiological responses of yearling cattle. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2008; (48): 1-6.

34. Ferguson DM, Warner RD. Have we underestimated the impact of preslaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 2008; (80): 12-19.
35. Eriksen MS, Rødbotten R, Grøndahl AM, Friestad M, Andersen IL, Mejdell C M. Mobile abattoir versus conventional slaughterhouse: Impact on stress parameters and meat quality characteristics in Norwegian lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, 2013; (149): 21-29.
36. Werner M, Hepp C, Soto C, Gallardo P, Bustamante H, Gallo C. Effects of a long distance transport and subsequent recovery in recently weaned crossbred beef calves in Southern Chile. *Livestock Science*, 2013; (152): 42-46.
37. Schwartzkopf-Genswein K, Faucitano L, Dadgar S, Shand P, González LA, Crowe TG. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *Meat Science*, 2012; (92), 227–243.
38. González LA, Schwartzkopf-Genswein K, Bryan M, Silasi R, Brown F. Space allowance during commercial long distance transport of cattle in North America. *J AnimSci*, 2015; (10): 3618-3629.
39. Pezzaioli. Camiones y carrocerías para el transporte de ganado – 2016. Disponible en: <http://www.pezzaioli.es>. Visitado: Enero de 2017.
40. Mitchell MA, Kettlewell PJ. Engineering and design of vehicles for long distance transport of livestock (ruminants, pigs and poultry). *Veterinaria Italiana*, 2008; (44): 201-213.
41. Weschenfelder AV, Torrey S, Devillers N, Crowec T, Bassols A, Saco Y, Piñeiro M, Saucier L, Faucitano L. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a short distance. *Livestock Science*, 2013; (157): 234-244.
42. Schwartzkopf-Genswein K, Grandin T. Cattle transport by road - *Livestock Handling and Transport*. Fourth Edition. 2014; pp: 143-173.
43. Miranda-de la Lama GC, Villarroel M, Liste G, Escós J, María GA. Critical points in the pre-slaughter logistic chain of lambs in Spain that may compromise the animal's welfare. *Small Ruminant Research*, 2010; (90): 174-178.

44. Sánchez M, Vieira C, De la Fuente J, Pérez MC, Lauzurica-Gomez S, González de Chavarri E, DíazMT. Effect of season and stocking density during transport on carcass and meat quality of suckling lambs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2013; (11): 394-404.
45. Patherick CJ, Phillips JC. Space allowances for confined livestock and their determination from allometric principles. *Applied Animal Behaviour Science*, 2009; (117):1-12.
46. Schwartzkopf-Genswein K, Haley DB, Church S, Woods J, O'byrne T. An education and training programme for livestock transporters in Canada. *Veterinaria Italiana*, 2008; (44): 273-283.
47. Tarrant PV, Kenny FJ, Harrington D. The effect of stocking density during 4 hour transport to slaughter on behaviour, blood constituents and carcass bruising in Friesian steers. *Meat Science*, 1988; (24): 209-222.
48. Theurer EM, White JB, Anderson ED, Miesner DM, Mosier AD, Coetzee FJ, Amrine ED. Effect of transportation during periods of high ambient temperature on physiologic and behavioral indices of beef heifers. *Am J Vet Res*, 2013; (74):481-490.
49. Eldridge GA, Winfield CG. The behaviour and bruising of cattle during transport at different space allowances. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1988; (28): 695-698.
50. Gebresenbet G, Aradom S, Bulitta FS, Hjerpe E. Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport. *Biosystems Engineering*, 2011; (110): 10-19.
51. Miranda-de la Lama GC, Monge P, Villarroel M, Olleta JL, Garcia-Belenguer S, María GA. Effects of road type during transport on lamb welfare and meat quality in dry hot climates. *Tropical Animal Health and Production*, 2011b; (43): 915-922.
52. Broom DM, (2007). Causes of poor welfare and welfare assessment. In T. Grandin (Ed.), *Livestock handling and transport* (pp. 29-40), publisher city.
53. Ekiz B, Ekiz EE, Kocak O, Yalcintan H, Yilmaz A. Effect of pre-slaughter management regarding transportation and time in lairage on certain stress parameters, carcass and meat quality characteristics in Kivircik lambs. *Meat Science*, 2012; (90): 967-976.

54. Bourguet C, Deiss V, Gobert M, Durand D, Boissy A, Terlouw EMC. Characterizing the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure. *Applied Animal Behaviour Science*, 2010; (125): 9-21.
55. Van De Water G, Verjans F, Geers R. The effect of short distance transport under commercial conditions on the physiology of slaughter calves; pH and colour profiles of veal. *Livestock Production Science*, 2003; (82): 171-179.
56. Thomson UD, Loneragan GH, Henningson NJ, Ensley S, Bawa B. Description of a novel fatigue syndrome of finished feedlot cattle following transportation. *J Am Vet Med Assoc*, 2015; (247): 66-72.
57. Gilkeson CA, Thompson HM, Wilson MCT, Gaskell PH. Quantifying passive ventilation within small livestock trailers using Computational Fluid Dynamics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2016; (124): 84-99.
58. Phillips CJC. The welfare of livestock during sea transport. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 137-154.
59. Gregory NG. *Animal Welfare and Meat Science*. CAB International, Wallingford, UK., 1998.
60. Fisher AD, Stewart M, Duganzich DM, Tacon J, Matthews LR. The effects of stationary periods and external temperature and humidity on thermal stress conditions within sheep transport vehicles. *N Z Vet J*, 2005; (53): 6-9.
61. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 2000; (67): 1-18.
62. Pines MK, Phillips CJC. Accumulation of ammonia and other potentially noxious gases on live export shipments from Australia to the Middle East. *Journal of Environmental Monitoring*, 2011; (13): 2798-2807.
63. Cockram MS, Baxter EM, Smith LA, Bell S, Howard CM, Prescott RJ, Mitchell MA. Effect of driver behaviour, driving events and road type on the stability and resting behaviour of sheep in transit. *Animal Science*, 2004; (79): 165-176.
64. Iversen H, Rundmo T. Personality, risky driving and accident involvement among Norwegian drivers. *Personality and Individual Differences*, 2002; (33): 1251-1263.

65. Häkkänen H, Summala H. Fatal traffic accidents among trailer truck drivers and accident causes as viewed by other truck drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 2001; (33): 187-196.
66. Darwent D, Roach G, Dawson D. How well do truck drivers sleep in cabin sleeper berths? *Applied Ergonomics*, 2012; (43): 442-446.
67. Valadez-Noriega M, Estévez-Moreno LX, Rayas-Amor AA, Rubio-Lozano MS, Galindo F, Miranda-de la Lama GC. Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 2018; 160: 76-84.
68. Woods J, Grandin T. Fatigue: a major cause of commercial livestock truck accidents. *Veterinaria Italiana*, 2008; (44): 259-262.
69. Rahman PJ, Brooke PD, Collins LM. Asia. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 288-318.
70. Loerch SC, Fluharty FL. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 1999; (77): 1113-1119.
71. Schaefer AL, Dubeski PL, Aalhus JL, Tong AKW. Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. *Journal of Animal Science*, 2001; (79): E91-E101.
72. Fike K, Spire MF. Transportation of cattle. *Vet Clin North Am Food AnimPract.*, 2006; (22): 305-320.
73. McEwen BS, Biron CA, Brunson KW. The role of adrenocorticoids as modulators of immune function in health and disease: neural, endocrine and immune interactions. *Brain Res Rev.*, 1997; (23): 79-133.
74. Sutherland AM, Erlandson K, Connor FJ, Salak-Johnson LJ, Matzat P, Smith FJ, McGlone JJ. Health of non-ambulatory, non-injured pigs at processing. *Livestock Science*, 2008; (116): 237-245.
75. Knowles TG, Warriss PD, Brown SN, Edwards JE, Watkins PE, Phillips AJ. Effects on calves less than one month old of feeding or not feeding them during road transport of up to 24 hours. *Veterinary Record*, 1997; (140): 116-124.

77. Warriss PD. The handling of cattle pre-slaughter and its effects on carcass and meat quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 1990; (28): 171-186.
78. Rahman SA. Middle East. Appleby MC, Cussen VA, Garcés L, Lambert LA, Turner J. Long distance transport and welfare of farm animals. Wallingford, UK., CABI, 2008; pp. 387-409.
79. Bosona TG, Gebresenbet G. Cluster building and logistics network integration of local food supply chain. *Biosystems Engineering*, 2001; (108): 293-302.
80. Cook NJ, Veira D, Church JS, Schaefer A L. Dexamethasone reduces transport-induced weight losses in beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 2009; (89): 335–339.
81. Hubbard JI. Microphysiology of vertebrate neuromuscular transmission. *Physiology Reviews*, 1973; (53): 674-723.
82. Kietzmann M, Jablonski H. On the blocking of stress by magnesium aspartatehydrochloride in the pig. *PraktischeTierarzt*, 1985; (66): 328-335.
83. Leathwood PD. Tryptophan availability and serotonin synthesis. *Proceeding of the Nutrition Society*, 1987; (46): 143-156.
84. Grimmett A, Sillence MN. Calmatives for the excitable horse: a review of L-tryptophan. *The Veterinary Journal*, 2005; 170: 24-32.
85. Schaefer AL, Jones SDM, Tong AKW, Young BA. Effects of transport and electrolyte supplementation on ion concentration, carcass yield and quality in bulls. *Canadian Journal of Animal Science*, 1990; (70): 107-119.
86. Schaefer AL, Jones SD, Stanley RW. The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. *Journal of Animal Science*, 1997; (75): 258-265.
87. Lozano MR, Méndez RM, Mayorga KR, García MR, Ovando MA, Ngapo, TM, Maldonado FG. Effect of an allostatic modulator on stress blood indicators and meat quality of commercial young bulls in Mexico. *Meat Science*, 2015; (105): 63-67.