

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS:

“Prevalencia, factores de riesgo y características de contusiones en canales de bovinos: estudio observacional y metaanálisis con revisión sistemática”

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA

Jaime Noé Sánchez Pérez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Horacio Dávila Ramos

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Juan Carlos Robles Estrada

Culiacán Rosales, Sinaloa, México a julio de 2020

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS

“Prevalencia, factores de riesgo y características de contusiones en canales de bovinos: estudio observacional y metaanálisis con revisión sistemática”

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA

Jaime Noé Sánchez Pérez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Horacio Dávila Ramos

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Juan Carlos Robles Estrada

ASESORES

Dr. Jesús José Portillo Loera
Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

Culiacán Rosales, Sinaloa, México a julio de 2020

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR JAIME NOÉ SÁNCHEZ PÉREZ, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y FUE APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

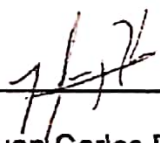
CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR



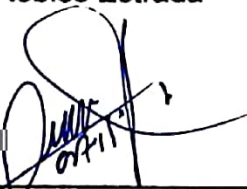
Dr. Horacio Dávila Ramos

CO-DIRECTOR



Dr. Juan Carlos Robles Estrada

ASESOR



Dr. Jesús José Portillo Loera

ASESOR



Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

Culiacán Rosales, Sinaloa, México a julio de 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe Jaime Noé Sánchez Pérez, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0434600-9, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Horacio Dávila Ramos y el Dr. Juan Carlos Robles Estrada, y cede los derechos del trabajo titulado “Prevalencia, factores de riesgo y características de contusiones en canales de bovinos: estudio observacional y metaanálisis con revisión sistemática” a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

Jaime Noé Sánchez Pérez

CORREO ELECTRÓNICO: jnsanchez25@gmail.com
CURP: SAPJ890702HSLNRM05



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

A mi madre Ana Pérez y a mi padre Jaime Sánchez, por ser ejemplo de esfuerzo y perseverancia y de quienes aprendí el valor por el trabajo honrado y constante

A mis hermanas, Ana y Lupita

Y a mis sobrinos, Fabián, Ariana y Leonardo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mis padres por su apoyo y confianza durante los años de mi formación doctoral.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, institución que me brindó un lugar idóneo para concluir mis estudios de posgrado.

A mi director, Dr. Horacio Dávila Ramos y co-director Juan Carlos Robles Estrada por su valiosa dirección y apoyo constante durante los últimos años de mi formación profesional.

A mis asesores, los doctores Francisco Gerardo Ríos Rincón y Jesús José Portillo Loera quienes aportaron un sinfín de ideas y consejos que enriquecieron sustancialmente mi trabajo doctoral.

Y a todos aquellos estudiantes que se involucraron con entusiasmo en los proyectos.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada durante mis estudios de Doctorado.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.2.1. Actualidad de la producción de carne de bovino en confinamiento	3
1.2.2. Rastros Tipo Inspección Federal (TIF) en México.....	3
1.2.3. Estrés y concepto de Bienestar Animal.....	4
1.2.4. Reacciones de un organismo ante un estímulo estresante.....	6
1.2.5. Bienestar animal en la cadena de producción bovina.....	9
1.2.6. Transporte de bovinos al finalizar la engorda.....	10
1.2.7. Densidad de carga.....	12
1.2.8. Proceso de aturdimiento.....	13
1.2.9. Tiempo entre aturdimiento a desangrado.....	14
1.2.10. Contusiones en canales de ganado bovino.....	16
1.2.11. Sistemas de clasificación de las contusiones en la canal.....	21
1.2.12. Definición de metaanálisis.....	24
1.2.12.1 Elaboración de metaanálisis.....	25
1.3. CONCLUSIÓN.....	27
CAPÍTULO 2. PREVALENCIA, CARACTERIZACIÓN Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A CONTUSIONES EN CANALES BOVINAS EN UNA PLANTA DE SACRIFICIO EN SINALOA, MÉXICO.....	28
CAPÍTULO 3. RISK FACTORS ASSOCIATED WITH THE PREVALENCE AND CHARACTERISTICS OF CARCASS BRUISING IN CATTLE: A META-	

ANALYSIS AND SYSTEMATIC REVIEW OF STUDIES FROM THE AMERICAS	37
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN GENERAL.....	94
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	95
CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA.....	96
CAPÍTULO 7. ANEXOS.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Resumen de estudios que evalúan canales contusas en ganado bovino en América.....	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Respuesta general al estrés.....	7
2	Punto ideal para el disparo con pistola de proyectil retenido.....	16
3	Prevalencia de contusiones en canales de ganado bovino, desde 1995 a 2018.....	23
4	Distribución de frecuencias de la prevalencia de contusiones.....	24

RESUMEN

Prevalencia, factores de riesgo y características de contusiones en canales de bovinos: estudio observacional y metaanálisis con revisión sistemática

Jaime Noé Sánchez Pérez

Con el objetivo de evaluar canales de bovinos afectadas por contusiones, y su prevalencia, se llevó a cabo un trabajo de tipo observacional en un rastro de Tipo Inspección Federal y un metaanálisis con revisión sistemática de la prevalencia de contusiones en canales de bovinos sacrificados en rastros. En el primer estudio se utilizaron los datos de 442 canales bovinas provenientes de dos regiones geográficas del estado de Sinaloa (Norte y Centro). Se observó una tasa de prevalencia de 75.8 % y las canales de hembras presentaron más contusiones ($P= 0.018$). En bovinos provenientes de la región norte (~150 km) la prevalencia fue mayor que la región centro (~30 km) (81.5 vs 70.2 %; $P= 0.005$). El factor de riesgo fue 2.05 veces mayor para canales de hembras ($P= 0.01$) y para bovinos provenientes de la región norte fue de 1.89 ($P= 0.006$). El dorso fue el sitio anatómico más afectado (47 %). La forma circular fue la de mayor presentación (62.2 %) y se observaron en mayor proporción las contusiones de tamaño pequeño (58.14 %), el grado de severidad 1 se observó en un 67.47 %. Se incluyeron 46 estudios de nueve países que incluyeron 928,447 canales de ganado. 41 estudios que informaron la prevalencia de hematomas se incluyeron en el metaanálisis y mostraron una prevalencia general del 60.8% (IC del 95%: 52,2 a 69,0) con valores heterogéneos en todos los países. Para la revisión sistemática, incluimos 27 estudios que informaron las características de las contusiones y descubrieron que las contusiones de tamaño pequeño con la gravedad más baja que afectaban principalmente al cuarto trasero eran altamente prevalentes. Estos 27 estudios informaron 61 asociaciones entre las características de los hematomas y los factores de riesgo, entre los cuales se evaluaron principalmente los factores de riesgo extrínsecos. Nuestros hallazgos confirman una alta prevalencia de hematomas en la canal que varía entre países de las Américas.

Palabras clave: bovinos; canales; contusiones; metaanálisis; prevalencia

ABSTRACT

Prevalence, risk factors and characteristics of bruises in bovine carcasses: observational study and meta-analysis with systematic review

Jaime Noé Sánchez Pérez

In order to evaluate bovine carcasses affected by bruises, and their prevalence, observational work was carried out on a Federal Inspection Type trail and a meta-analysis with systematic review of the prevalence of bruises on bovine carcasses slaughtered on abattoirs. In the first study, data from 442 bovine carcasses from two geographical regions of the state of Sinaloa (North and Center) were used. A prevalence rate of 75.8% was observed and the female carcasses had more bruises ($P = 0.018$). In cattle from the northern region (~ 150 km) the prevalence was higher than the central region (~ 30 km) (81.5 vs. 70.2%; $P = 0.005$). The risk factor was 2.05 times higher for female carcasses ($P = 0.01$) and for cattle from the northern region it was 1.89 ($P = 0.006$). The back was the most affected anatomical site (47%). The circular form was the one with the highest presentation (62.2%) and the bruises of small size (58.14%) were observed in greater proportion, the degree of severity 1 was observed in 67.47%. We included 46 studies from nine countries that involved 928,447 cattle carcasses. Forty-one studies that reported the prevalence of bruises were included in the meta-analysis and showed an overall 60.8% prevalence (95% CI: 52.2 to 69.0) with heterogeneous values across countries. For the systematic review, we included 27 studies that reported the characteristics of the bruises and found that small-sized bruises scored with the lowest severity affecting mostly the hindquarter were highly prevalent. These 27 studies reported 61 associations between the characteristics of bruises and risk factors, among which extrinsic risk factors were mainly assessed. Our findings confirm a high prevalence of carcass bruising that varied between countries from the Americas.

Keywords: cattle; carcasses; bruises; meta-analysis; prevalence

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 INTRODUCCIÓN

El ganado bovino, particularmente el destinado a sacrificio para la obtención de productos cárnicos, está sujeto a etapas de manejo en las cuales es constantemente inducido a factores estresantes. Entre estas etapas se pueden mencionar la recepción y acopio en el corral de engorda, el periodo de engorda, el traslado desde los centros de producción a las plantas de sacrificio, la espera en corrales en la planta de sacrificio y hasta la etapa de sacrificio (Peña *et al.*, 2007). De estas etapas, el traslado desde los centros de engorda a las plantas de sacrificio se considera de las más estresantes para los bovinos ya que estos se exponen factores que les causan dolor y sufrimiento, factores ambientales adversos y manejo inadecuado (Tarrant y Grandin, 1993). Con la modernización de las técnicas de producción intensiva de ganado, se incurre en prácticas negativas durante el manejo previo al sacrificio, durante el transporte y en el rastro favoreciendo la alteración del bienestar animal (Cundiff, 1992). Hoy en día existe un mercado consumidor más exigente que no solo busca un producto final de calidad en términos organolépticos, sino que también demanda que dentro de los esquemas de producción y comercialización incluyan aspectos relativos al bienestar animal, considerándose este un atributo más de calidad del producto, conocida como calidad ética (Gallo y Tadich, 2005).

El estrés es definido como el estado de un animal con relación a sus intentos por adaptarse o sobrellevar su medio ambiente (Boom, 1986). Y también designa el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en la que vive y muere (OIE, 2018). La evaluación del bienestar animal se puede llevar a cabo objetivamente y en forma independiente de consideraciones morales (Broom y Fraser, 2007). Para la valoración se toman en consideración cambios conductuales, inmunosupresión, incidencia y prevalencia de enfermedades y prevalencia de daño corporal (Galindo *et al.*, 2004). El daño corporal en los bovinos, generalmente se aprecia en las canales durante la etapa de sacrificio en forma de contusiones y debido a la ausencia de ruptura de la piel, estas pueden observarse solamente al retirar la piel (Strappini *et al.*, 2009). Las

contusiones generan pérdidas económicas considerables debido a los decomisos y el retiro de componentes de las canales afectadas (Ferguson y Warner, 2008). Lo anterior afecta la calidad y composición de las canales debido principalmente a daño ocasionado por contusiones -estas son el principal defecto observado en las canales de bovinos- (González, 2013). Las contusiones en las canales tienen origen en múltiples factores de riesgo tales como los relacionados con la naturaleza del bovino (intrínsecos), en los que se incluyen el sexo, cobertura grasa, peso vivo, raza, entre otros y los de origen externo o independientes del animal (extrínsecos) que incluyen fuentes como instalaciones, manejo y traslado (Miranda de la Lama *et al.*, 2014; Gregory, 2008).

Al respecto de la heterogeneidad observada en la literatura en cuanto a prevalencia de contusiones, el metaanálisis es una herramienta útil para aplicar métodos estadísticos que permitan obtener una prevalencia global y determinar al mismo tiempo los factores que influyen en la heterogeneidad de los resultados observados en la literatura (Liberati *et al.*, 2009). Este se define como un estudio que tiene como objetivo recopilar la información disponible de temas determinados y realizar una evaluación a través de metodología estadística específica, así como estimar el tamaño del efecto de los factores bajo análisis válidos (Bolaños y Calderón, 2014).

Por lo anterior, el objetivo fue evaluar la presencia de contusiones en canales de bovinos sacrificados en un rastro de Tipo Inspección Federal y determinar los factores de riesgo asociados a su presentación, así como realizar un metaanálisis de la prevalencia global de contusiones en canales de ganado bovino sacrificado en rastros y determinar algunos factores que contribuyan a la heterogeneidad.

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1 Actualidad de la producción de carne de bovino en confinamiento

En México, la producción intensiva de carne de bovino ha sufrido cambios significativos en cuanto al número de cabezas que se engordan anualmente, en la última década se observa un incremento del 5.6% ya que pasó de 28,792,622 cabezas en el año 2005 a 30,508,948 cabezas en el año 2014 (SIAP, 2018).

Los cinco estados con la mayor producción de carne en canal de bovino son Veracruz con 252,088 toneladas, en segundo lugar, se ubicó Jalisco con 209,061 toneladas, seguido de Chiapas con 115,206 toneladas. Estos últimos estados mencionados aportaron más del 42% del total nacional (SIAP, 2014). Por su parte, la producción de carne en canal a nivel nacional registró una producción de 6,114,630 toneladas de carne en canal para el año 2014 según datos de SIAP (2014) con un ligero incremento a 6,883,642 toneladas en 2018 (SIAP, 2018).

El estado de Sinaloa se ubicó como el séptimo productor a nivel nacional aportando 1,544,567 de cabezas de ganado en el año 2014, lo que equivale al 5 % del aporte a nivel nacional. Esto representa una producción de 91,938 toneladas de carne en canal en el mismo año (SIAP, 2018). En contraste, en el año 2005, se produjeron 74,023 toneladas de carne en canal lo que representa un incremento del 19.5% en la última década. Por otra parte, para el 2018, Sinaloa pasó a ser cuarto lugar en producción tras incrementar la producción de carne en canal a 92,421 toneladas de carne en canal (MEXICAN BEEF, 2018).

Además de la producción nacional, el ganado que se cría en el país es exportado hacia los estados unidos, ganado que pudiera ser aprovechado en el territorio nacional. En el año de 1994, el número de cabezas exportadas a los Estados Unidos fue de 1,085,726 ascendiendo a 1,351,611 para el año 2004, sin embargo, para el año de 2014, el número se redujo a 923,000 cabezas (SIAP, 2018).

1.2.2. Rastros Tipo Inspección Federal (TIF) en México

Para producir y procesar la carne de ganado bovino en México de tal manera que el producto obtenido sea de calidad, los bovinos son sacrificados en establecimientos de Tipo Inspección Federal (TIF) que se rigen por normas, específicamente la NOM-009-Z00-1994; esta norma oficial establece que este tipo de establecimientos tienen la obligación de obtener productos de óptima calidad higiénico-sanitarias. Un rastro se define como todo establecimiento dedicado al sacrificio y faenado de animales para abasto (SAGARPA, 2019); existen diferentes tipos de rastros: rastro municipal, rastros privados y rastros de tipo inspección federal (TIF). En México, se cuenta con un total de 108 rastros TIF los que cuentan con una capacidad instalada mensual de 413,899 cabezas de ganado bovino.

En la región noroeste de México donde se encuentra el estado de Sinaloa se cuenta con 103 centros de matanza municipal para el sacrificio de ganado, 22 de tipo inspección federal y 14 privados. En promedio cada centro genera un volumen de cinco mil toneladas, de ella, mil 868 corresponden a la especie bovina, mil 790 a la porcina y mil 337 a la de ave, además una mínima parte a la ovina y caprina con apenas 22 y 24 toneladas, obteniendo por su comercialización 19 mil 825 millones de pesos (SAGARPA, 2019). En Sinaloa, se cuenta con 4 establecimientos de este tipo (SIAP, 2018). Es importante mencionar que los rastros de Tipo Inspección Federal al estar regulados por la SAGARPA y la Secretaría de Salud ofrecen al consumidor un producto de calidad e inocuo. Además, el sacrificio de animales de abasto se sujeta a normas estrictas y los procedimientos que se siguen tienen la finalidad de disminuir o evitar el sufrimiento de los animales. Los rastros, deben de cumplir muchos requisitos de control e inspección, así las instalaciones y los equipos deben de ser los adecuados para no ocasionar a los animales sufrimiento, dolor o agitación (Torrescano *et al.*, 2008).

1.2.3. Estrés y concepto de Bienestar Animal

Ya desde la década de los 30s del siglo pasado se comenzaba a relacionar a los estímulos externos en los animales con reacciones inespecíficas que ocurrían en el organismo. Fue Selye (1936), quien, reportó en observaciones de experimentos realizados en ratas las reacciones de un organismo que recibe un daño severo y agudo por agentes no específicos, como lo son exposición al frío, cirugías, ejercicio excesivo, o

intoxicaciones con dosis subletales de drogas diversas como adrenalina, atropina, morfina, formaldehído, etc., aparecía un síndrome con síntomas típicos e independientes de la naturaleza del agente que causara el daño. El síndrome general de adaptación fue definido con base en tres etapas bien delimitadas en el tiempo y síntomas que observaron en los animales expuestos a los factores dañinos.

La primera etapa, “alarma”, que dura de 6 a 48 horas después del daño inicial y que incluye una serie de cambios fisiológicos en los organismos; pérdida de tono muscular, caída de la temperatura corporal, hiperemia de la piel, incremento de lagrimación y salivación, úlceras gástricas y duodenales, entre otros.

En la segunda etapa, pasadas las 48 horas los cambios fisiológicos incluyen, en animales productivos, el crecimiento corporal general se detiene, y las gónadas comienzan a atrofiarse, otros cambios ocurren en las adrenales y en animales lactantes la secreción de leche se detiene, todo ello a consecuencia de que en la hipófisis anterior cesa la producción de gonadotrofinas, hormona del crecimiento y prolactina en favor de tirotrópicas y adenotrópicas. Si el agente causante del daño o como el autor lo definió, el tratamiento continuo con dosis relativamente bajas de las drogas o los daños por lesiones son ligeros los animales pueden en esta etapa crear resistencia que en la última etapa los órganos pueden prácticamente retornar a su estado normal. Sin embargo, si el estímulo continúa por un periodo por uno a tres meses los animales pierden la resistencia y sucumben con síntomas similares a los de la primera etapa, esta última la denominó fase de agotamiento.

Bértola (2010) hace una pequeña biografía de Hans Selye, en ella menciona la importancia de sus contribuciones que, además de describir por vez primera el “síndrome general de adaptación”, se debe a Selye el origen de la palabra *Stress* (tensión, presión, coacción). Este término, se utilizó para dar una concepción de la condición con la que el organismo responde a agentes nocivos o “stressors”.

Posteriormente, ya con ambos términos definidos, el mismo Selye, en 1946 plantea una concepción específica del síndrome; según el autor, “el síndrome general de adaptación es la suma de todas las reacciones sistémicas no específicas del cuerpo que se producen luego de una larga exposición continua al estrés”. Agrega, que es diferente de las reacciones adaptativas específicas, como el desarrollo muscular después del

ejercicio físico prolongado, los fenómenos inmunológicos y alérgicos, etc., que, estas dotan al cuerpo con una gran resistencia contra el agente al que fue expuesto, pero tanto las manifestaciones de estas reacciones adaptativas como la resistencia que confieren al organismo son específicas del agente causal. Broom (1996), define al bienestar, sin referirse exclusivamente a animales, como “el estado del individuo con respecto a sus intentos de hacer frente a su entorno”, incluye los sentimientos y la salud.

1.2.4. Reacciones de un organismo ante un estímulo estresante

Actualmente se tiene una concepción más amplia de los procesos fisiológicos que se desarrollan en un organismo expuesto a agentes estresantes. Sin embargo, se tiene un consenso respecto a la duración y sus efectos del estrés: puede ser agudo o crónico. Cuando el sistema nervioso central percibe una amenaza, se desarrolla una respuesta que consiste en la combinación de cuatro respuestas generales de defensa fisiológica: comportamiento, sistema nervioso autónomo, inmune y neuroendocrino. Para mantener la homeostasis es necesario que solo los primeros dos se activen, de otro modo cuando se involucran los cuatro mecanismos, algunas funciones biológicas pueden verse modificadas y el animal puede entrar en peligro (Trevisi *et al.*, 2009).

En la respuesta neuroendocrina (figura 1) son importantes el sistema simpático/suprarrenal (SS) y el eje hipotálamo-pituitaria adrenocortical (HPA) y estos se activan dependiendo del factor estresante que está produciendo el estímulo (Gupta *et al.*, 2007). En la activación del primero denominado “síndrome de emergencia”, el organismo se prepara para hacer frente a peligros súbitos y la respuesta es rápida y breve, esto conlleva a la activación neuronal del hipotálamo y la liberación de adrenalina desde la médula adrenal, así como noradrenalina de las fibras nerviosas del *Locus coeruleus* (LUC-NE), región que se localiza en el tronco cerebral. Las catecolaminas son las encargadas de poner al animal en alerta, lo preparan para luchar o huir, a través de provocar un aumento de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción periférica, aumento de la glicemia, dilatación pupilar hiperventilación y aumento del volumen sanguíneo (Lay *et al.*, 2001).

En el HPA, los centros cognitivos del cerebro como la corteza cerebral, una vez que percibe peligro activa mecanismos de respuesta vía señales nerviosas que activan

la liberación del factor liberador de corticotropina (CRH) y la vasopresina, principalmente en el hipotálamo (núcleo paraventricular). La CRH se libera por terminales de axones que se proyectan hacia la región de la eminencia media, y es transportada por el sistema sanguíneo portal hipofisiario hacia la hipófisis anterior, esto estimula la liberación de hormona adenocorticotropa (ACTH), a su vez, esta es liberada al torrente sanguíneo para estimular la síntesis y secreción de glucocorticoides (GC) (Mormède *et al.*, 2007).

En esta compleja respuesta fisiológica se presenta un proceso de retroalimentación negativa, donde el cortisol actúa sobre el hipotálamo y la hipófisis disminuyendo la producción de CRH y ACTH. En esta etapa el organismo intenta adaptarse o afrontar la presencia de los factores que percibe como amenaza, en donde se presenta una normalización de los niveles de corticosteroides y la desaparición del estrés, etapa que se denomina “de resistencia o relajación” (Sapolsky *et al.*, 2000).

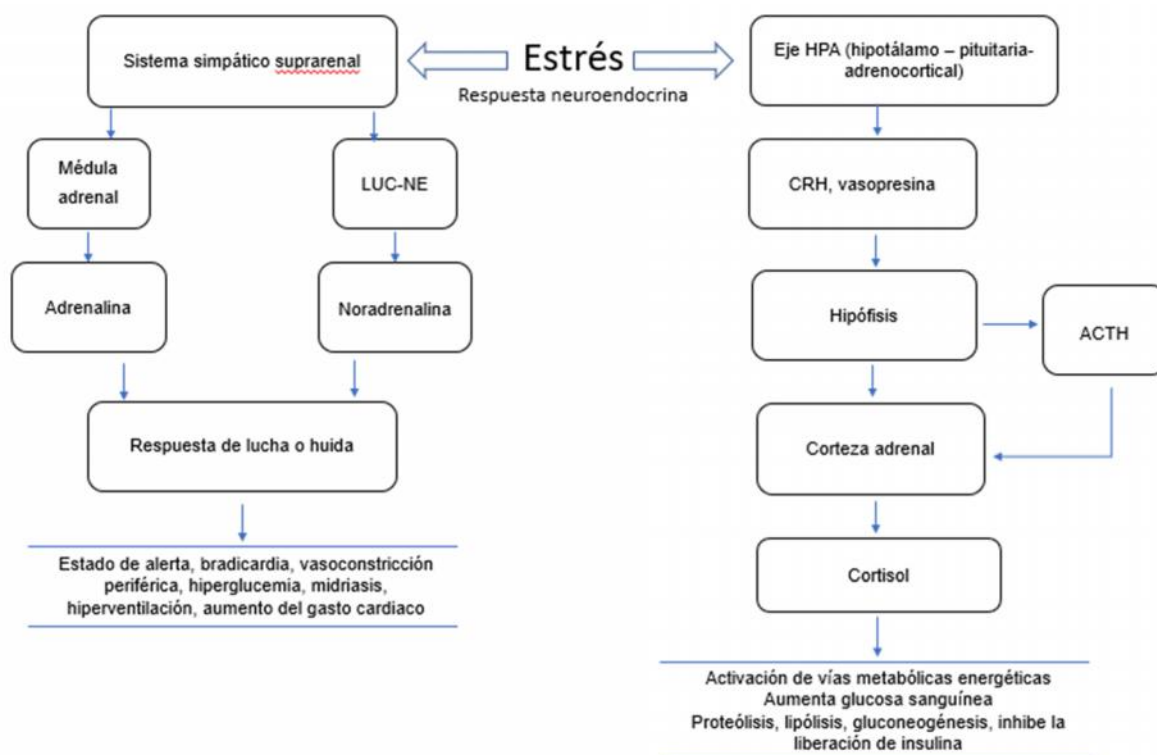


Figura 1. Respuesta general al estrés. Romero *et al.* (2011).

Técnicamente se estudia el bienestar de los animales cuando las investigaciones se centran en conocer cuán fácil o difícil es para el individuo hacer frente a desafíos del medio ambiente, y la medida de como este le afecta, sea negativa o positivamente. En la disciplina científica referente a bienestar, animal o incluidos humanos, es posible obtener varias mediciones que a su vez pueden ser utilizadas como indicadores, y poder inferir, basados en rangos, si este se considera como pobre o bueno (Broom, 1988). Entre los desafíos ambientales a los que anteriormente se hace referencia, podemos incluir a patógenos, daño tisular, ataques de depredadores, competencia social, falta de estímulos (sociales o de índole restrictivo como destete), estímulos excesivos (manejo en animales de granja) y la incapacidad para controlar las interacciones con el entorno (Broom, 2001).

El cortisol es uno de los biomarcadores más utilizados para evaluar el estrés experimentados por animales, sin embargo, el aumento de su concentración plasmática solo sería un indicador neuroendocrino primario. Las mediciones de los niveles de cortisol basal y de su variación después de la exposición a un factor estresante, son buenos marcadores para la evaluación del estrés crónico (Romero *et al.*, 2011).

Los glucocorticoides pueden actuar incrementando el número y el porcentaje de neutrófilos (neutrofilia), mientras que decrecen los linfocitos (linfopenia). Teniendo en cuenta que el número de estos leucocitos son afectados por el estrés en direcciones opuestas, se ha utilizado en la investigación la relación neutrófilos/linfocitos como una forma de medir la respuesta al estrés (Stockman *et al.*, 2011). Los neutrófilos son fagocitos primarios que proliferan en la circulación como respuesta a infecciones, inflamaciones y el estrés. Por otra parte, los linfocitos tienen una variedad de funciones inmunológicas, como producir inmunoglobulinas y la modulación de la respuesta inmune (Davis *et al.*, 2008).

Como respuesta al incremento de los glucocorticoides durante el estrés, los linfocitos circulantes se adhieren a las células endoteliales que cubren las paredes de los vasos sanguíneos y posteriormente pasan de la circulación a otros tejidos como los ganglios linfáticos, medula ósea, bazo y piel, donde son secuestrados, produciendo así una reducción del número de linfocitos circulantes (linfopenia). Por otro lado, los glucocorticoides estimulan el flujo de neutrófilos desde la medula ósea hacia la sangre y

atenúan el paso de estos hacia otros compartimientos, generando neutrofilia, que consiste en el aumento de neutrófilos maduros e inmaduros en la circulación sanguínea (Buckham *et al.*, 2008).

1.2.5. Bienestar animal en la cadena de producción bovina

Dentro de los esquemas productivos a nivel mundial, se han establecido criterios estandarizados que suponen la aplicación de legislaciones o leyes que regulen el trato que los animales deben de recibir a lo largo de la cadena de producción. El consejo de bienestar para los animales de granja (FAWC, 1993) por sus siglas en inglés, estableció cinco libertades que los animales de granja deben de recibir: 1. Libres de hambre y sed, 2. Libres de incomodidad, 3. Libres de dolor, lesiones y enfermedad, 4. Que puedan expresar su comportamiento natural y 5. Libres de miedo y estrés. Por su parte la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), establece reglamentos específicos que aseguran un trato humanitario hacia los animales al momento de someterlos a algún manejo; en su caso, el transporte de los animales es uno de los factores críticos en la fase de producción que puede llevar al animal a un estado de estrés, para ello dicho organismo estableció medidas referentes al transporte de animales de granja en las que se menciona que el tiempo de transporte deberá de ser lo más corto posible, además que los operarios deberán de tener experiencia y ser competentes en la manipulación y el desplazamiento del ganado, otro aspecto es referente a instalaciones donde se hace referencia a los lugares de carga y descarga los cuales deberán de tener el mínimo de distractores que hagan que los animales se detengan bruscamente o dar la vuelta, también se menciona que cada país debe de establecer normas de competencia para los conductores que transporten animales, así como a los operarios y gestores de las instalaciones todo ello relativo al bienestar animal.

En el caso particular de México, se establecieron Normas Oficiales referentes al bienestar animal en las que se incluye la Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato Humanitario en la Movilización de Animales y la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos Para Dar Muerte a los Animales Domésticos y Silvestres; ambas normas son de observancia nacional y aplicación obligatoria. Sin embargo, como se verá más adelante, no siempre se adoptan las legislaciones internacionales ni las

normas oficiales, al momento de transportar o sacrificar animales de granja, incluso en establecimientos de Tipo Inspección Federal.

Según la FAO (2016), la carne puede formar parte de una dieta equilibrada, aportando valiosos nutrientes beneficiosos para la salud. El crecimiento demográfico constante y el aumento de los ingresos genera una mayor demanda de carne, pero al mismo tiempo dejan un espacio limitado para la expansión de la producción pecuaria. En consecuencia, hacer el máximo uso de los recursos alimentarios existentes es cada vez más importante. Al respecto la FAO (2014), registró un consumo *per cápita* mundial de 42.9 kg de carne al año, sin embargo, en los países desarrollados el consumo se estimó en 76.1 kg, en contraste con los países en desarrollo con 33.1 kg de carne por persona al año.

Actualmente, con las técnicas de producción animal que demandan altas ganancias de peso y mantienen a los animales en lugares relativamente reducidos de espacio, ha propiciado que se afecte al bienestar animal (Bouissou, 1980). Además, durante la cadena de producción, el manejo que se realizan en el ganado destinado a producir carne puede tener efectos directos sobre el bienestar animal (Gallo y Tadich, 2005). Los esquemas de comercialización que incluyen un alto número de partícipes, el transporte prolongado de animales en pie desde los centros de producción a los de consumo, los tiempos de reposo en ayuno relativamente prolongados en las plantas de matanza, la alta prevalencia de contusiones en las canales y marcas ocasionadas por golpes, la creciente detección de carnes con un inadecuado pH y color por problemas debidos al estrés, la escasa atención puesta al sufrimiento innecesario ocasionado a los animales durante el arreo y la insensibilización, indican un alto riesgo de problemas de bienestar animal y de calidad de la carne en muchos países de Latinoamérica (Gallo y Tadich, 2008).

En este sentido se menciona que el transporte y los manejos anexos son los principales factores causantes de estrés en los animales y muchas veces dolor y sufrimiento innecesario (Tarrant y Grandin, 1993). Gallo *et al.* (1995) mencionan que las operaciones destinadas al sacrificio de reses de abasto influyen en la calidad de la carne, especialmente si se considera que la mayor parte del ganado que se sacrifica se

transporta en pie por grandes distancias, desde los centros de producción hacia los centros de consumo y luego son mantenidos en reposo con ayuno por largas horas.

1.2.6. Transporte de bovinos al finalizar la engorda

Muchos autores mencionan a la etapa de transporte como el momento de mayor estrés en la vida de los bovinos. Lo anterior tiene sentido si tomamos en cuenta el hecho de que los animales están habituados a las instalaciones donde se lleva a cabo la engorda y un manejo repentino es un evento que lleva a un estado potencial de estrés.

Además del efecto sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés, se pueden observar cambios en el comportamiento de los animales a mayor duración del viaje. Así, por ejemplo, los bovinos al ser transportados tienden a mantenerse de pie al estar el camión en movimiento, usando preferentemente las orientaciones paralelas o perpendiculares al eje mayor del camión para mejorar la seguridad de su balance; sin embargo, después de 12 horas de viaje los animales se comienzan a caer o echar debido al cansancio; ello predispone a sufrir pisotones y hematomas (Gallo *et al.*, 2000). Además de influir sobre el bienestar y comportamiento de los animales, el transporte también afecta la calidad y la cantidad de carne producida, ello ocurre al provocar muertes de animales durante el viaje (pérdida total del producto), disminuciones de peso, lesiones (contusiones de diverso grado) y alteraciones de calidad como corte oscuro (Gallo y Tadich, 2005).

Romero *et al.* (2012), en un estudio realizado en Colombia, evaluaron el transporte de bovinos de diferentes fincas por vía terrestre, el 26.9% de los bovinos fueron sometidos a tiempos de transporte inferiores a 3 h, 15% entre 3 y 6 h, 35.6% entre 6 y 10 h, 15% entre 10 y 12 h y 7.2% restante superaron las 12 h de transporte, donde el análisis de los datos mostró que el tiempo de transporte no se relacionó con la presencia de contusiones en los bovinos. Sin embargo, los autores refieren que las variables sexo, densidad de carga, peso de llegada, permanencia en la planta y tiempo de descanso durante el viaje, son factores que incidieron en altas prevalencias de contusiones, las cuales se presentaron en el 84.3% de las canales.

En un estudio realizado en bovinos por un periodo de transporte de 36 horas con dos grupos, con o sin descanso durante el transporte indicó que el cortisol incrementa al

momento de la llegada a la planta de sacrificio y al momento de la sangría con relación a las iniciales en el predio, además los valores de VGA (volumen globular aglomerado) para los animales sin un periodo de descanso, aumentaron significativamente entre en periodo de origen y la planta de sacrificio, también se observó un aumento significativo en las concentraciones plasmáticas de glucosa (Tadich *et al.*, 2000).

Gallo *et al.* (2001) encontraron que animales transportados 36 horas con o sin descanso, tuvieron pérdidas de peso similares en el transporte; también en el reposo en el matadero el grupo con descanso perdió en promedio 3.5 kg; en cambio, el grupo sin descanso ganó en promedio 2.2 kg ($P < 0.05$). Tanto el peso de canal caliente (PCC) y rendimiento centesimal de canal respecto al peso vivo inicial y de llegada al matadero, fueron similares en los animales con o sin descanso.

Los promedios de pH, L*, a* y b* fueron similares en los animales con y sin descanso. Se presentó igual porcentaje (40%) de canales con pH igual o superior a 5.8 en los bovinos con y sin descanso; sin embargo, en los bovinos sin descanso se registró un mayor número de canales con pH sobre 6.0 y se determinó la presencia de tres canales con características de corte oscuro a la vista.

1.2.7 Densidad de carga

Durante la vida productiva de los animales, estos deben de ser transportados ya sea de una granja a otra o de la granja al rastro. El transporte constituye uno de los factores más preocupantes en términos del bienestar animal, además del impacto que este tiene sobre la calidad de la canal y sus productos. La densidad de carga (DC) se refiere al peso corporal de animal por unidad de área de un vehículo (kg/m^2), mientras que la disponibilidad de espacio (DE) es la unidad del área de transporte del vehículo asignado por individuo (m^2/kg) (Mota-Rojas *et al.*, 2012). Durante el transporte al rastro, la DC y la DE pueden tener un efecto importante sobre el bienestar de los animales. Alta DC dificulta la realización de los movimientos de adaptación que les permitan mantener un balance cuando el vehículo se halla en movimiento, lo que se suma a la reducción de la reducción de las posibilidades de termorregulación a altas temperaturas ambientales. Además, los animales pierden el balance y pueden caer o resbalar en el vehículo, así presentarse contusiones en las canales (Gallo *et al.*, 2005).

Gallo *et al.* (2005) encontraron que densidades de carga en una región estuvieron en el rango de 106 a 693 kg/m² (promedio 457 ± 6.6 kg/m²). En la región que denominaron metropolitana encontraron un rango de 268 a 632 kg/m² (promedio de 453 ± 9.7 kg/m²). Para el ganado bovino transportado en todos los vehículos en general la densidad de carga promedio fue 455 ± 4.4 kg/m² que según los autores resulta relativamente alta, especialmente si se considera que fueron registradas después del transporte. Grandin (1998) califica las densidades sobre 455 kg/m² como altas, además la Farm Animal Welfare Council (FAWC, 1992) de Europa recomienda 1.16 m² para bovinos cuyo peso corporal sea superior a 400 kg.

El corte oscuro es uno de los problemas de calidad de la carne que es provocado por estrés crónico previo al faenamiento; el estrés reduce las reservas de glucógeno muscular y disminuye la formación de ácido láctico, como consecuencia el pH después de la muerte permanece alto (5.8) en lugar de descender (<5.8). En un estudio, se observó que canales que a las 24 horas *post mortem* presentaron pH 5.8, tuvieron una concentración promedio de glucógeno muscular de 14.9 µmol/g, que fue menor (P<0.001) que, en las canales con pH normal, en las cuales la concentración de glucógeno muscular fue de 34.5 µmol/g. esta diferencia confirma la mayor movilización de glucógeno a causa del estrés, en los animales que produjeron canales con pH 5.8 (Ammann *et al.*, 2004).

1.2.8. Proceso de aturdimiento

Otro aspecto importante que considerar durante el procesamiento de los animales destinados al abasto es el aturdimiento. El objetivo de aturdir a los bovinos antes de sangrarlo es lograr que este pierda instantáneamente la conciencia y no la recupere antes de la sangría, de manera que no sienta dolor, se inmovilice y sea más fácil y seguro para el operario manejarlo. Entre los indicadores que se pueden usar para determinar los efectos del aturdimiento sobre el bienestar animal se mencionan los métodos directos e indirectos; los primeros evalúan variables conductuales y fisiológicas de los animales, así como la condición física de estos, mientras que los indicadores indirectos evalúan el ambiente y la infraestructura donde se encuentran los animales, así como el manejo que reciben por parte de las personas en los lugares de producción, comercialización y

plantas de sacrificio. El registro de vocalizaciones es un ejemplo de método directo, debido a que esta conducta puede ser indicadora de dolor, miedo o estrés de los animales (FAO, 2013).

Muños *et al.* (2012) realizaron una investigación utilizando indicadores del bienestar animal en un cajón de noqueo en el tiempo que comprendió desde el cierre de la puerta de entrada del cajón de noqueo tipo guillotina hasta el momento del primer disparo en el cráneo del animal. Registraron los indicadores del bienestar como presentes cuando se observaron al menos una vez en cada animal y los definieron de la siguiente forma: Indicadores directos o de comportamiento. Vocalización, forcejeo e intentos de fuga. Indicadores indirectos o de manejo. Golpe con la puerta tipo guillotina, aplicación de picana, sujeción, eficiencia en producir la pérdida de postura al primer disparo, tiempo total de permanencia en el cajón y tiempo de sujeción. En sus resultados observaron que el forcejeo fue la conducta más frecuente, se registró en un 38.3% de los animales y su presentación se asoció significativamente ($P < 0.001$) con un tiempo de sujeción mayor a cinco segundos. Además, el 17.2% de los animales vocalizó en el cajón de noqueo. También el 9.5% de los bovinos cayó en el cajón de noqueo y por último el 75.1% de los animales fue golpeado por la puerta tipo guillotina, con lo anterior los autores llegaron a la conclusión que en ese lugar en particular existen problemas de bienestar animal, asociados principalmente a las instalaciones, así como a la falta de capacitación de los operarios. Cartes (2000) observó un 83.6% de bovinos que cayeron al primer intento al ser aturdidos con una pistola de perno cautivo. De los tres lugares analizados la planta C (92.2%), registró el mayor porcentaje de bovinos que cayeron al primer tiro, en tanto que la planta A (72.8%) fue la que tuvo menor porcentaje de aciertos al primer intento. En el mismo estudio se observó que los signos de retorno a la sensibilidad más frecuentemente encontrados en las tres plantas de sacrificio fueron respiración (82.5%) y vocalización (45%). El mayor porcentaje de presencia de respiración se registró en la planta A (86.3%), en donde también se encontró el mayor número de animales que intentó incorporarse. En cuanto a la presencia de movimientos oculares y reflejo corneal la planta A presentó el mayor porcentaje (38.2 y 28.75%).

1.2.9. Tiempo entre aturdimiento a desangrado

La FAO (2013) define el desangrado como la parte del sacrificio en que se cortan los principales vasos sanguíneos del cuello para permitir que la sangre drene del cuerpo, produciéndose la muerte por anoxia cerebral. Recomienda que el cuchillo del desangrado debe ser afilado continuamente y el mismo debe de ser rápido después del aturdimiento, si se demora el desangrado, el animal puede recuperar el conocimiento. Por lo general el desangrado debe comenzar a los 15 segundos luego del aturdimiento, en la figura 2 se indica el punto ideal donde se realiza el disparo con la pistola de perno penetrante. Además, si demora el tiempo de desangrado, aumenta la presión sanguínea que ocasiona la ruptura de vasos, produciéndose hemorragias musculares. Esta sangre adicional en los tejidos contribuye a la rápida descomposición de la carne a su consiguiente falta de aprovechamiento. Gallo *et al.* (2003), observaron en los resultados, que el intervalo de tiempo entre disparo efectivo y sangría más frecuente fue entre 2.01 y 3 minutos representando un 31% lo cual es similar a lo obtenido al utilizar la Tecnología B, en que el intervalo entre noqueo y sangría con mayor frecuencia de observación fue entre 2.01 y 3 minutos (33.4%); también se aprecia que los intervalos 4.01 a 5 y sobre 5 minutos fueron frecuentes en ambos. Luego de la capacitación de los operarios, se observó un cambio significativo en el intervalo de menos de 1 minuto con respecto a los datos anteriores (Tecnología B); después de la capacitación prácticamente el 100% de los animales fue desangrado antes de los 2 minutos posterior a la insensibilización. Miranda de la Lama *et al.* (2012) registraron un 10% de bovinos que vocalizaron en el cajón de aturdimiento.

En otro aspecto, Oliveira *et al.* (2018) registraron bovinos con fase clónica de un 14 a 20% (justo antes de ser izados al riel). La HSA (2016) indica que un aturdimiento efectivo implica un colapso inmediato, presentación de una actividad tónica (fase tónica) exagerada seguida de relajación y movimientos involuntarios de patada (fase clónica) y no deben de presentarse respiración rítmica, ni movimientos oculares, además de mandíbula y lengua relajadas. También indica que el desangrado debe de realizarse durante la fase tónica (este periodo dura de 10 a 20 s después del aturdimiento). En la normativa mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014), se estipula que el ganado debe ser desangrado dentro de los primeros 20 s después de la insensibilización y no sobrepasar los 60 s con el fin de evitar el retorno a la sensibilidad. Atkinson *et al.* (2013) reportaron

92% de impactos dentro del punto ideal; los autores mencionan al respecto que si la pistola de perno penetrante no es puesta completamente perpendicular a la cabeza al momento del disparo el impacto puede reducir la fuerza y profundidad, lo que contribuye a reducir el efecto del aturdimiento. Adicionalmente, un aturdimiento no efectivo favorece la expulsión de contenido ruminal y una posterior bronco aspiración durante el intervalo entre aturdimiento y desangrado y que contenido ruminal contamina cabezas, canales y pulmones (Rios-Rincón *et al.*, 2012). Por otra parte, Grandin (2007) menciona que un bovino que permanece solitario en el cajón de aturdimiento tiende a vocalizar, esto se debe en parte a que la especie es de instinto gregario y permanecer solitario implica un estímulo estresante para el animal.

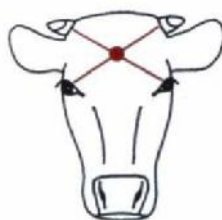


Figura 2. Punto ideal para el disparo con pistola de proyectil retenido (Gallo y Tadich, 2008).

1.2.10. Contusiones en canales de ganado bovino

En el ganado bovino, una contusión es definida como una decoloración superficial del tejido debido a hemorragias que es causada por ruptura de vasos sanguíneos y la acumulación de sangre y suero en el sitio de la contusión (Vimiso y Muchenje 2013; Mpakama *et al.*, 2014). Estas, solo se observan en la canal una vez que se retira la piel, por lo tanto, solo pueden ser valoradas *post mortem* en las canales. Las contusiones se asocian a factores de distinta índole, intrínsecos o extrínsecos. Dentro de los factores intrínsecos se incluyen las condiciones inadecuadas en las instalaciones de las granjas o centros de engorde, cuando los bovinos son trasladados: caminos en malas condiciones y viajes extensos tanto en kilómetros recorridos como en tiempo, en este sentido el descanso juega un papel preponderante en viajes largos (Ferguson y Warner, 2008; Miranda de la Lama *et al.*, 2014). Entre los factores intrínsecos (propios del animal)

se mencionan la presencia de cuernos, el temperamento y el sexo, entre otros (Ramsay *et al.*, 1976).

Adzitey (2011), menciona que la diferencia entre sexos a presentar contusiones está relacionada con la susceptibilidad de las hembras, estas son más reactivas a estímulos estresantes indeterminados, además involucran factores como diferencia en edad al sacrificio, grosor de la piel y cobertura grasa. Hoffman y Lühl, (2012) reportaron diferencia significativa mayor en hembras en cuanto al número de contusiones comparadas con los machos; adicionalmente, las vacas resultaron ser más propensas que las vaquillas, lo que corrobora que podrían existir más factores involucrados en la presentación de contusiones. Mendonça *et al.* (2018) por su parte, reportaron que las hembras tuvieron un 91% más contusiones en las canales comparado con los machos y estas fueron 42% más propensas a presentar una contusión respecto a los animales con cuernos grandes y que tuvieron más contusiones. Huertas *et al.* (2010) observaron una correlación positiva entre la presencia de al menos un bovino con cuernos en el camión de traslado y la frecuencia de contusiones en las canales, sin embargo, mencionan que cortar los cuernos a los bovinos no sería una solución al problema de contusiones ya que esto implica un estímulo estresante para los animales a los que se les aplique el descorne. Wythes *et al.* (1979) por su parte reportaron diferencia significativa entre bovinos sin cuernos los cuales tuvieron más contusiones al compararlos con animales con cuernos recortados en trabajos donde los grupos se encontraban separados. En un estudio realizado por Youngers *et al.* (2017) no encontraron relación significativa entre la prevalencia de ganado con cuernos en los lotes y la prevalencia de contusiones en los mismos lotes de bovinos trasladados a la planta de sacrificio. Los autores mencionan que, dada la localización de las contusiones en las canales, principalmente en la línea media de la cavidad torácica, los hematomas tendrían otra fuente y no fueron causadas por golpes con los cuernos. Por otra parte, Lee *et al.* (2017) observaron que el lado de la canal con más contusiones fue la línea media dorsal, seguido del izquierdo y finalmente el derecho.

En cuanto al color de las contusiones Mpakama *et al.* (2014) reportaron que la mayoría de estas fueron recientes (rojo brillante), observando incluso diferencias entre raza y edad de los bovinos en cuanto a la edad de las contusiones. Gracey *et al.* (1999)

mencionan que para llevar a cabo la determinación de la edad de las contusiones pueden tomarse como referencia tres colores: rojo brillante como una contusión reciente de 0 a 10 h, rojo oscuro que corresponde a una contusión de aproximadamente 24 horas y amarillenta una contusión más antigua (tres días). Frimpong *et al.* (2014), encontraron que un 60.6% de las contusiones observadas fueron categorizadas como ligeras y un 21.6% severas. Strappini *et al.* (2012) registraron mayor cantidad de contusiones superficiales de grado 1, por tamaño los autores reportaron que las pequeñas resultaron en mayor cantidad. Estos mismos autores observaron que los sitios anatómicos con más contusiones se encontraron en la tuberosidad coxal en primer lugar, seguido por lo que corresponde a la línea dorsal media.

Cuadro 1. Resumen de estudios que evalúan canales contusas en ganado bovino en América.

Estudio	Población / tamaño muestra	Objetivo / Metodología	Factor de riesgo
Andrade et al. (2008)	Vacas, Vaquillas, y bueyes Nelore, 2.5-6.5 años / n=121	Evaluar la influencia del transporte en la aparición de contusiones en los principales cortes comerciales / El ganado se dividió en seis grupos según condiciones de transporte, distancia recorrida y tiempo	Condición de traslado, tiempo y distancia
Bertoloni et al. (2012)	Ganado Nelore / n=255	Evaluar la incidencia de contusiones en la canal debido al tipo de transporte y distancia recorrida / Se transportaron seis grupos de ganado a dos distancias diferentes (75-130 o 180-250 km) en tres tipos de vehículos (camiones o remolques de una o dos plataformas).	Tiempo de traslado y distancia recorrida
Cardoso et al. (2011)	NR / n=697	Analizar el efecto de la distancia recorrida entre granja y matadero sobre la aparición de contusiones en canales de bovinos e identificar la gravedad y ubicación anatómica / Se inspeccionaron las canales para localizar y caracterizar las contusiones	Distancia recorrida
Crosi et al. (2015)	NR / n=1,030	Evaluar y caracterizar las contusiones en Ganado sacrificado para exportación / Se evaluó el ganado sacrificado en siete mataderos para caracterizar visualmente las contusiones.	Sexo y edad
da Silva et al. (2014)	Vacas adultas / n=320	Investigar el efecto de la distancia de transporte sobre la incidencia de contusiones / El ganado se asignó al azar a tres grupos de distancia recorrida: 50-60, 90-110 o 140-166 km.	Distancia recorrida

De Andrade et al. (2008)	76 vacas, 7 novillos y 5 hembras Nelore, 9.5-12.5 años / n=88	Evaluar la influencia del transporte fluvial en la incidencia de contusiones / El ganado se trasladó por transporte fluvial, se dividió en tres grupos según la distancia recorrida: Cond-I (137 km, 72 h); Cond-II (271 km, 74 h), Cond-III (528 km, 49 h)	Distancia recorrida y tiempo
Gallo et al. (2001)	20 toretes y 20 vaquillas Hereford y Angus, 400 kg de peso / n=40	Evaluar el efecto de un periodo de descanso durante el transporte a planta de sacrificio / El ganado fue asignado a un grupo sin descansar y transportado durante 36 h o un grupo con 8 h de descanso después de 24 h de traslado	Duración del periodo de descanso
Gallo et al. (2000)	Toretas Freisian 2 años y 447-438 kg de peso / n=139	Evaluar el tiempo de transporte en la frecuencia y el grado de contusiones en las canales / El ganado se transportó por 3, 6, 12 o 24 h en dos estaciones del año.	Tiempo de traslado
Goldhawk et al. (2015)	vacas, 688 kg de peso / n=627	Evaluar el efecto de las prácticas de transporte y manipulación en las contusiones en canales de bovinos / El ganado se trasladó en diferentes tipos de transporte y se expuso a diferentes prácticas de manejo.	Transporte y manejo
Huertas et al. (2010)	Vaquillas, Vacas, ternero, toros Hereford, Angus y sus cruas / n=15,168	Evaluar las condiciones durante el transporte y sus efectos sobre las contusiones en la canal / Se registraron las contusiones y su gravedad en canales de ganado expuesto a diferentes condiciones de transporte y prácticas de manejo	Transporte y manejo
Huertas et al. (2018)	Europeos, 450 kg de peso / n=8,132	Evaluar las condiciones de transporte relacionadas con las contusiones en la canal / Se registraron las características de las contusiones debido a las condiciones de transporte y prácticas de manejo	Carga y descarga
Lee et al. (2017)	Toretas y vaquillas Holstein o ganado cárnico / n=9,860	Determinar cuáles factores de riesgo contribuyen a la presentación de contusiones en las canales / Se observó el ganado durante la manipulación en la etapa previa al sacrificio y se registraron y caracterizaron las contusiones	Sexo, tipo de trailer, distancia recorrida y raza
Mendonça et al. (2016)	Vacas de desecho, toretas, bueyes y vacas cebú o ganado B. taurus / n=2,520	Evaluar la influencia del grupo genético y la presencia de cuernos en la aparición de contusiones / Se identificaron contusiones en canales de bovinos de lotes con cuernos, sin cuernos o mixtos	Raza y presencia de cuernos
Mendonça et al. (2019)	Bueyes (55%) y vacas (45%) cruzadas, 442-461 kg de peso / n=4,611	Evaluar los factores previos al sacrificio responsables de la aparición de hematomas en áreas anatómicas específicas de la canal / Se evaluaron las canales de ganado para detectar la presencia de contusiones en costillar, lomo, cadera y frontal de la canal	Sexo, distancia recorrida y tiempo, tipo de vehículo, DC, manejo e instalaciones

Menezes (2018)	Toros (93) vacas (153) n=246	Determinar el perfil de las contusiones de la canal según el sexo y la distancia recorrida / Se observaron las canales para determinar presencia de contusiones y se compararon entre el sexo y la distancia recorrida (<20 o >20 km)	Sexo y distancia recorrida
Miranda de la Lama et al. (2012)	Hembras, 2-2.3 años y 405-495 kg de peso / n=1,236	Evaluar las prácticas de manejo y cuantificar la incidencia de contusiones / Se monitorearon las prácticas de manejo y se registró la incidencia y características de las contusiones	Descarga y manejo
Petroni et al. (2013)	NR / n=898	Evaluar la aparición y las características de contusiones en las canales / Los bovinos fueron transportados por <200, 201-400 o >400 km y examinadas sus canales para valorar contusiones	Distancia
Rebagliati et al. (2008)	NR / n=17,370	Analizar los factores que durante el sacrificio causan pérdidas económicas y afectan la calidad de la carne / Se obtuvieron datos de dos plantas de sacrificio para caracterizar las contusiones en las canales	Distancia recorrida, manejo, instalaciones, tiempo de espera, y fuente
Romero et al. (2011)	Machos y hembras de Bos indicus y cruza / n=2,288	Evaluar las prácticas de bienestar animal previo al sacrificio y su relación con las contusiones en la canal / Se evaluaron contusiones caracterizaron, y determinaron asociación con las prácticas de manejo y transporte	Prácticas de manejo y condiciones de traslado
Romero et al. (2013)	Machos y hembras Brahman, 1-3 años and 452-458 kg de peso / n=1,179	Investigar los factores de riesgo como posibles causas de contusiones / se registraron los datos de viajes de ganado a plantas de sacrificio. Se examinaron las contusiones y sus características y se asociaron con posibles factores de riesgo	Fuente del ganado, tiempo de espera, densidad de carga, distancia de transporte y tiempo y edad
Strappini et al. (2010)	NR / n=127,838	Evaluar la prevalencia de contusiones en las canales / Se analizaron datos retrospectivos de dos plantas de sacrificio para determinar la prevalencia de contusiones y su grado de severidad de acuerdo con factores de riesgo extrínsecos e intrínsecos	Tipo de animal, cobertura de grasa, Fuente del animal, y tiempo de espera
Strappini et al. (2013)	Vacas lecheras, Ganado Frisian rojo / n=52	Identificar el momento potencial, la causa y el lugar donde se infringen las contusiones en ganado sacrificado / Se observaron etapas previas y posteriores al sacrificio (carga y aturdimiento) para evaluar los posibles eventos que causan contusiones	Manejo e instalaciones

Youngers et al. (2017)	Machos y hembras Holstein y razas cárnicas / n=4,287	Evaluar la relación entre la prevalencia de cuernos y la prevalencia de contusiones / se observó ganado sacrificado para evaluar la presencia y tamaño de cuernos y luego examinar su relación con las contusiones en la canal	Presencia de cuernos
-------------------------------	--	--	----------------------

El estrés durante el manejo *ante mortem* es negativo para el bienestar animal y para la calidad de la carne, es por eso por lo que el manejo correcto del ganado es de importancia extrema para las plantas de sacrificio. Factores tales como la infraestructura inadecuada y mal manejo, son los motivos más recurrentes por los cuales se observan contusiones en las canales.

El manejo rudo tanto en la planta como en los predios redobla el número de contusiones presentes en los animales Gallo y Tadich (2005). Por otra parte, cuando la contusión es severa y afecta partes de la canal de valor económico importante, se producen pérdidas económicas considerables debido al recorte de tejido o el decomiso parcial o total de las canales afectadas (Ferguson y Warner, 2008).

1.2.11. Sistemas de clasificación de las contusiones en la canal

Para clasificar las contusiones en canales bovinas, se han ideado sistemas en los cuales el criterio de clasificación se basa en factores como localización de la contusión, gravedad y edad; estas características se han usado para inferir cuando y por medio de que mecanismo se ha infringido la contusión (Grandin, 2018). Sin embargo, existen en tal variedad que se vuelve difícil la adopción o implementación de uno en particular para la evaluación de contusiones en las distintas condiciones que prevalecen en cada país.

El sistema australiano de puntuación de las contusiones en la canal (ACCESS), ideado por Anderson y Horder (1979), clasifican la gravedad de la contusión de acuerdo con el área de superficie de la lesión en tres grupos: “ligero” (S), “medio” (M) y “pesado” (H).

Otro sistema el cual fue desarrollado por el instituto de la carne de Finlandia se basa en el color y la gravedad de la contusión, en este sistema se utilizan tres categorías: “ninguna” que corresponde a una superficie limpia; “ligera” que denota un área rojiza con

daños en la superficie y “grave” es cuando la contusión es de color rojizo en el fondo y el daño de desangrado se puede observar en la superficie.

Un tercer sistema utilizado de manera obligatoria en Chile incorpora un criterio basada en grados de severidad donde: grado 1 corresponde, cuando el área dañada comprende solo los tejidos subcutáneos; como grado 2, cuando el daño afecta el tejido subcutáneo y muscular y como grado 3, que es una contusión severa es cuando el tejido subcutáneo, muscular y óseo están afectados. Las canales que presentan contusiones (hematomas) grado 2 y 3 (las cuales afectan el tejido muscular y óseo respectivamente deben sufrir recortes por lo que el peso de ellas disminuye y además bajan de categoría de tipificación disminuyendo su valor comercial. Las contusiones corresponden a lesiones tisulares usualmente producidas por objetos romos que producen rupturas vasculares y acumulación de sangre en los tejidos (Strappini *et al.*, 2009).

En otro estudio realizado en Chile, se encontró que del total de canales faenadas el 4.41% presentó algún grado de contusión, de estas canales 3.39% tenían contusiones grado 1, el 1.01% presentaron de grado 2 y 0.01% presentaron contusiones grado 3 (Strappini *et al.*, 2013) y mencionan que en Chile las canales de vaca presentan la mayor prevalencia de contusiones comparadas con otras categorías de ganado. Sin embargo, las causas de hematomas son con frecuencia desconocidos. En el estudio se utilizaron 52 vacas de desecho que fueron transportadas al matadero en tres lotes en condiciones de transporte idénticas. En sus resultados observaron 78 contusiones en 37 canales y en el 46% de las contusiones fueron resultado de la interacción de los animales y las instalaciones, además, la mayoría de las contusiones fueron infringidas en el cajón de noqueo, el 27% de los hematomas se originó a partir de las interacciones entre los animales y otro 27% fue resultado de la interacción entre los humanos y los animales y la mayoría se dieron durante la carga y descarga de los animales. La capacidad implica habilidades, salud y conocimiento. La disposición se relaciona con la motivación, satisfacción en el trabajo y la actitud. La oportunidad incluye las condiciones de trabajo, las acciones de los compañeros de trabajo, así como las políticas y reglas del lugar donde labora. Se ha reportado que un mal comportamiento de los obreros que manejan animales por medio de golpes y gritos, generan conductas negativas principalmente

miedo. El miedo conduce a estrés agudo y crónico en los animales y tiene un profundo efecto negativo en la salud y bienestar de los animales (Grandin, 2000).

A continuación, se presenta la prevalencia registrada en la literatura a partir del año 1995 hasta el 2019 (Figura 3), en la cual se observa una heterogeneidad sustancial en los resultados obtenidos por los diferentes autores y que, es todavía escasa la información disponible. Sin embargo, en cuanto a la prevalencia registrada, se debe de tomar en cuenta las características de cada publicación, y su respectivo resultado, ya que las condiciones en las que se lleva a cabo el sacrificio de los bovinos varían en cada región, así como el tipo de estudio y las características de los animales valorados. Además, se presenta la línea de tendencia, la cual indica un incremento de la prevalencia de contusiones a través del tiempo.

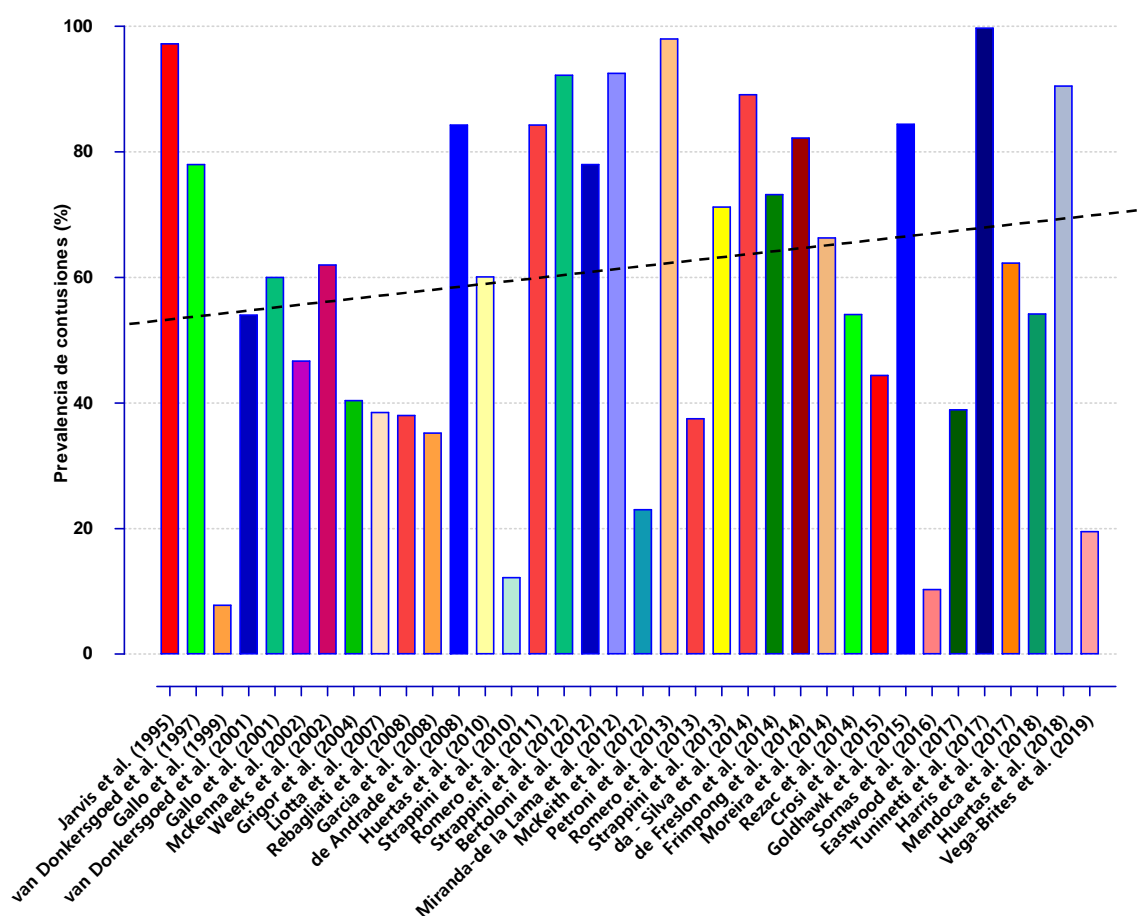


Figura 3. Prevalencia de contusiones en canales de ganado bovino, desde 1995 a 2018.

En la figura 4 se presenta la distribución de frecuencias con los datos de la figura 3 en la cual se observa que la frecuencia de contusiones está en torno a 50%, sin embargo, también se indica un alto porcentaje de artículos en los que se presentan prevalencias al rededor del 80%.

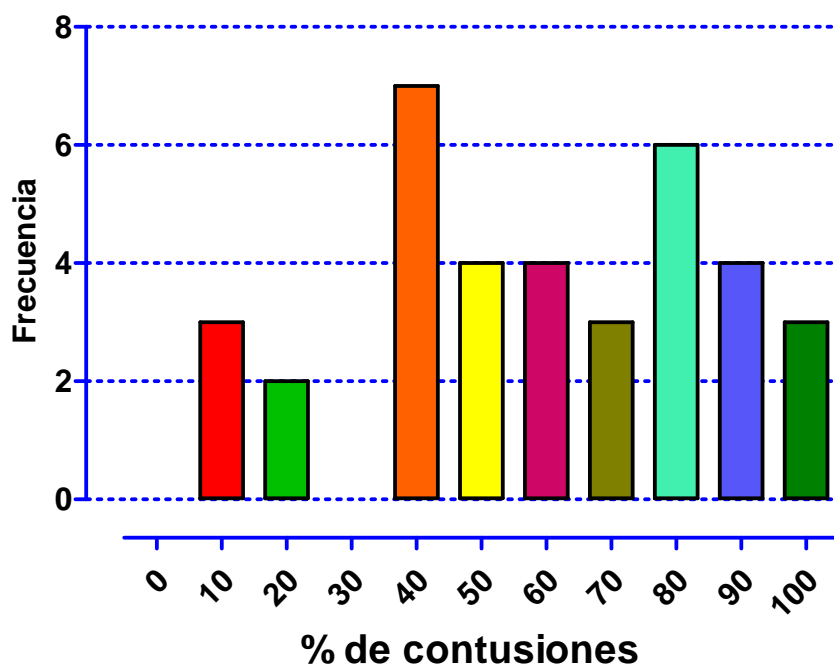


Figura 4. Distribución de frecuencias de la prevalencia de contusiones.

1.2.12. Definición de metaanálisis

Glass (1976) presentó el término metaanálisis por primera vez. Los primeros trabajos referentes a la metodología fueron revisiones en el ámbito de la educación y la psicología (psicoterapia); se tenía la necesidad de mayor rigor y sistematicidad debido a las discrepancias observadas en los resultados en investigación de las áreas afines, se tenían resultados dispersos y a veces contradictorios (Botella y Zamora, 2017).

El metaanálisis se define como una metodología para la revisión sistemática y cuantitativa de la investigación, este ofrece técnicas necesarias para la acumulación rigurosa de resultados cuantitativos de los estudios empíricos sobre un mismo problema de salud, esto permite a los investigadores tomar decisiones bien informadas y basadas en la evidencia disponible (Marín-Martínez *et al.*, 2009). El metaanálisis nació con el

objetivo de mejorar la forma poco rigurosa en que se realizan las revisiones narrativas. Las revisiones narrativas son imprecisas y subjetivas, por lo tanto, poco replicables. Se menciona que ese es justamente lo que pretende un metaanálisis: conocer y combatir las imprecisiones de las revisiones narrativas. Este, tiene como características la precisión, la objetividad y la replicabilidad (Botella y Sánchez-Meca, 2015).

Bolaños y Calderón (2014) definen a los metaanálisis como estudios que tienen la finalidad de compilar toda la información disponible, agruparla por temas específicos y evaluarla a través de herramientas de calidad metodológicas. Mencionan, además, que el objetivo principal del metaanálisis es estimar el tamaño del efecto resumen una vez combinados los resultados de cada estudio bajo un análisis estadístico lo suficientemente válido.

1.2.12.1. Elaboración de metaanálisis

La metodología para realizar un metaanálisis comienza por definir la variable de desenlace que se analizará (para el caso de esta tesis es la canal de bovino con contusión); después se definen las variables secundarias, cuando sea necesario: el proceso general para realizar un metaanálisis se resume a continuación: 1. Definición de variables desenlace y resultados, 2. Elección de términos de búsqueda y bibliotecas bibliográficas, 3. Revisión sistemática (RS), 4. Análisis de datos, 5. Evaluación de la heterogeneidad, 6. Interpretación de resultados (Bolaños y Calderón, 2014).

La importancia en los primeros pasos radica en obtener la mayor parte de los artículos posibles; elegir las palabras claves y las bibliotecas electrónicas correctas es de suma importancia, y luego, discriminar por medio de criterios previamente establecidos. Para la metodología también es importante definir la pregunta PICO (Población-Intervención-Comparación-Respuesta de cada estudio que se tenga. Posteriormente se lleva a cabo la revisión sistemática. En esta etapa se realiza el proceso de selección que puede incluir algunos de los siguientes pasos (Liberati *et al.*, 2009): A) Identificación: número de resúmenes identificados en las bases de datos. Numero de resúmenes identificados de otras fuentes. Número de artículos después de eliminar duplicados. B) Tamizaje: número de resúmenes tamizados. Número total de resúmenes excluidos. C) Elegibilidad: Número de artículos a texto completo analizados. Número de

artículos a texto completo excluidos. Número de artículos a texto completo incluidos en la síntesis cualitativa de la RS. Número total de artículos a texto completo excluidos de la síntesis cualitativa de la RS y D) Inclusión: Número total de artículos seleccionados para el metaanálisis.

La presentación resumida de los resultados de los estudios obtenidos mediante la metodología constituye la revisión sistemática cualitativa. Posteriormente se realiza la combinación mediante métodos estadísticos de los resultados de los estudios, es la parte del metaanálisis propiamente dicho. El metaanálisis concede un mayor peso relativo a los estudios que ofrecen más información. Cuando se combinan los resultados se asigna un peso a cada estudio y se obtiene una media ponderada. Adicionalmente, la combinación de los resultados considera la variabilidad tanto en un estudio como entre estudios y así se mejora la validez (Ferreira *et al.*, 2011). Con los datos de prevalencia de contusiones es posible realizar análisis que permitan obtener los factores que están implicados en las discrepancias observadas a nivel mundial. Para el caso de la prevalencia es útil aplicar el metaanálisis de proporciones, el cual tiene como base una transformación de los datos para, teóricamente, acercarlos a la distribución normal. La prevalencia comparte una definición igual de la distribución binomial, en la cual hay una distribución de probabilidad discreta que cuanta el número de éxitos en una secuencia de una muestra, con una probabilidad fija p de ocurrencia del éxito entre los ensayos, por lo tanto esta asume que la prevalencia tendrá una distribución binomial, lo anterior permite que se pueda meta-analizar por métodos de la varianza inversa para obtener los pesos individuales para cada estudio (Bakbergenuly *et al.*, 2016).

Un metaanálisis de la prevalencia de contusiones a nivel mundial sería una herramienta útil que permitiría obtener información resumida y objetiva que permita establecer los factores que influyen en la prevalencia a nivel mundial y daría una visión general de la implicación del problema de las contusiones a la industria cárnica para establecer criterios de manejo y medidas que incidan directamente en la disminución de la prevalencia de contusiones y con esto, mejorar el bienestar animal y reducir las pérdidas económicas que genera dicha condición.

1.3. CONCLUSIÓN

A pesar de que en los últimos años el bienestar animal ha sido un tema de relevancia internacional y los esfuerzos por mejorar las condiciones en que los bovinos de abasto son tratados en cada etapa de producción, la prevalencia de contusiones en las canales referidas en la literatura científica ha tendido a incrementar. Además, de acuerdo con la literatura consultada, existe heterogeneidad en los resultados de la prevalencia entre países y, además, es escasa la información de los factores que se relacionan con dicha heterogeneidad. Por ello, determinar los factores que influyen en la prevalencia de contusiones sería importante para la implementación de estrategias que permitan disminuir dicha prevalencia, por tanto, disminuir las pérdidas económicas y mejorar las condiciones de bienestar animal de los bovinos. Por otra parte, utilizar métodos estadísticos que permitan determinar la prevalencia global y determinar los factores asociados a la prevalencia de contusiones sería de ayuda para establecer las causas principales que afectan al bienestar animal y provocan daño a las canales. Por otra parte, los metaanálisis constituyen herramientas útiles para comprender el fenómeno de las contusiones, por el hecho de resumir la evidencia disponible y la aplicación de métodos estadísticos apropiados que apoyen en la interpretación de resultados heterogéneos y en su caso con ayuda de la meta regresión poder determinar asociaciones entre posibles causas de la heterogeneidad.

CAPÍTULO 2. PREVALENCIA, CARACTERIZACIÓN Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A CONTUSIONES EN CANALES BOVINAS EN UNA PLANTA DE SACRIFICIO EN SINALOA, MÉXICO.

De acuerdo con la reglamentación del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, el capítulo 2 se integra por el artículo aceptado o publicado en revistas científicas incluidas en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) o en Journal of Citation Report®. El escrito que integra este apartado pretende contribuir parcialmente al objetivo general del documento de tesis; el artículo fue publicado en la Revista **Biotecnia**, editada por la Universidad de Sonora, cuyo objetivo es crear un espacio para la discusión y divulgación de resultados y avances de investigación de alto nivel. Los artículos o contribuciones son productos de investigaciones originales o revisiones bibliográficas, en las áreas de Ciencias Agropecuarias, Química, Bioquímica y Ciencias Asociadas, Biomédicas, Nutrición, Cultura Física y Deportes, Toxicología, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Biología, Recursos Naturales Terrestres, Acuáticos y Conservación de Recursos Naturales.

Artículo 1.

Título: Prevalencia, caracterización y factores de riesgo asociados a contusiones en canales bovinas en una planta de sacrificio en Sinaloa, México.

Autores: Jaime Noé Sánchez Pérez, Juan Carlos Robles Estrada, Jesús José Portillo Loera, Francisco Gerardo Ríos Rincón, Karla Hildeliza Leyva Medina, Omar Salvador Acuña Meléndez, José Adrián Félix Bernal y Horacio Dávila Ramos

Revista: Biotecnia

Área VI. Biotecnología y Ciencias Agropecuarias. Evaluación CONACYT, 2019: 55.61 pts. De competencia internacional.

ISSN: 1665-1456

VOLUMEN XXI, N° 3, SEPTIEMBRE-DICIEMBRE DE 2019

ISSN: 1665-1456

Bio tecnia

Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud editada por la Universidad de Sonora



indexada en

latindex IC Journal Master List e-revist@s PERIÓDICA THOMSON REUTERS

Pertenece al Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología del CONACYT

CONACYT

Miembro de crossref

<http://biotecnia.unison.mx>



Prevalencia, caracterización y factores de riesgo asociados a contusiones en canales bovinas en una planta de sacrificio en Sinaloa, México

Prevalence, characterization and risk factors associated with bovine carcasses bruises at a slaughterhouse in Sinaloa, Mexico

Jaime Noé Sánchez Pérez, Juan Carlos Robles Estrada, Jesús José Portillo Loera, Francisco Gerardo Ríos Rincón, Karla Hildeliza Leyva Medina, Omar Salvador Acuña Meléndez, José Adrián Félix Bernal y Horacio Dávila Ramos*

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Boulevard San Ángel No. 3886, Fraccionamiento San Benito. Predio Las Coloradas. C.P. 80246. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.

RESUMEN

Para determinar prevalencia, identificar factores de riesgo y caracterizar contusiones se evaluaron 442 canales bovinas provenientes de dos regiones geográficas (Norte y Centro) del estado de Sinaloa, México. Se registraron datos de procedencia, sexo, edad y tiempo de espera *ante mortem*, así como el sitio anatómico afectado, grado de severidad, forma y tamaño de la contusión. Se observó una tasa de prevalencia de 75.8 % y las canales de hembras presentaron más contusiones ($P=0.018$). En bovinos provenientes de la región norte (~150 km) la prevalencia fue mayor que la región centro (~30 km) (81.5 vs 70.2 %; $P=0.005$). El factor de riesgo fue 2.05 veces mayor para canales de hembras ($P=0.01$) y para bovinos provenientes de la región norte fue de 1.89 ($P=0.006$). El dorso fue el sitio anatómico más afectado (47 %). La forma circular fue la de mayor presentación (62.2 %) y se observaron en mayor proporción las contusiones de tamaño pequeño (58.14 %), el grado de severidad 1 se observó en un 67.47 %. Se concluye que la tasa de prevalencia supera el 75 % y que los factores de riesgo fueron el sexo y la región de procedencia.

Palabras clave: Bienestar animal, hematomas, matanza, vacunos.

ABSTRACT

To determine prevalence, identify risk factors and characterize contusions, 442 bovine carcasses were evaluated from two geographic regions (North and Center) of the state of Sinaloa, Mexico. Data of provenance, sex, age and *ante mortem* waiting time were recorded, as well as the anatomical site affected, severity degree, shape and size of bruises. A prevalence rate of 75.8 % was observed and the female carcasses presented more bruises ($P=0.018$). In cattle from the northern region (~150 km) the prevalence was higher than the central region (~30 km) (81.5 vs 70.2 %; $P=0.005$). The risk factor was 2.05 times higher for female carcasses ($P=0.01$) and for bovines from the northern zone was 1.89 ($P=0.006$). The loin was the most affected anatomical site (47 %). The circular shape was the one with the highest presentation (62.2 %) and smallest bruises observed in a greater proportion (58.14 %), the severity degree 1 was observed in 67.47 %. We concluded that the prevalence rate exceeds 75 % and that the risk factors were sex and region of origin.

Keywords: Animal welfare, bruises, slaughter, cattle.

INTRODUCCIÓN

El traslado de los bovinos desde el corral de finalización hacia el matadero es un evento que se relaciona con el estrés pre-sacrificio, además, las condiciones de manejo que se asocian a dicho traslado como la carga, descarga y el ayuno incrementa el estrés; en adición, este se detona cuando el tiempo y la distancia se prolongan (Gallo y Tadich, 2005); el estrés pre-sacrificio, se corrobora cuando ocurren cambios fisiológicos *in vivo* y se hace evidente al observar contusiones *post mortem* en las canales (Alende *et al.*, 2014). Romero y Sánchez (2011) mencionan que las contusiones ocasionan un menor rendimiento y pérdidas económicas por el decomiso del producto (Hoffman y Lühl, 2012). Otros factores que inciden en la presentación de contusiones son el tiempo de permanencia en corrales de espera, competencia por el espacio y un manejo inadecuado previo a la matanza por parte de los operarios (Cobo y Romero, 2012); esta situación puede agudizarse si las condiciones climáticas no son favorables para el bienestar del ganado bovino (Pérez-Linárez *et al.*, 2008).

Las contusiones son lesiones traumáticas que se desarrollan después de aplicar una fuerza mecánica sobre el cuerpo de los animales, al ocurrir esto se ocasiona ruptura de vasos sanguíneos y capilares (Hoffman *et al.*, 1998), lo anterior es un indicador de cómo se lleva a cabo el manejo *ante mortem* en la planta de matanza. Es posible evaluar el color, la forma, el tamaño y el sitio anatómico donde se localiza la contusión, esto permite identificar el tipo de objetos que se utilizan para el arreo, el lugar y momento donde se infringió la contusión y la intensidad de esta (Strappini *et al.*, 2009; Mpakama *et al.*, 2014).

La prevalencia de contusiones en la canal de bovinos ha sido comparativamente bien estudiada en algunas regiones del mundo. En América Latina y en particular en México, el tema ha recibido poca atención (Miranda de la Lama *et al.*, 2012). Evaluar el manejo *ante mortem* en una planta Tipo Inspección Federal (TIF) permite identificar cualquier acto que vaya en contra del bienestar animal y de la calidad de la carne, así mismo, recomendar los cambios apropiados en las rutinas de manejo que minimicen el costo biológico para los animales durante el proceso previo al sacrificio y mejorar la calidad del producto.

*Autor para correspondencia: Horacio Dávila Ramos
Correo electrónico: davila-ramos@uas.edu.mx

El objetivo del presente estudio fue determinar la prevalencia, identificar factores de riesgo y caracterizar las contusiones en la canal de bovinos procesados en un rastro Tipo Inspección Federal en Sinaloa, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio y características del muestreo

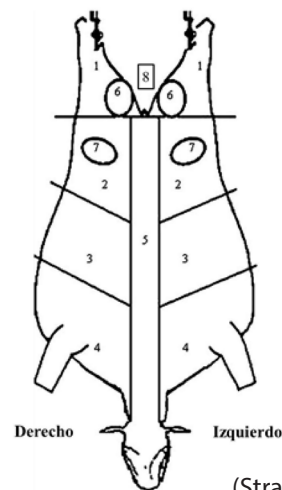
El estudio fue observacional con un muestreo por conveniencia (Jaramillo y Martínez, 2010). Se realizó durante la época de otoño a invierno para el hemisferio norte que corresponde a los meses de noviembre de 2016 a febrero de 2017, en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal certificada para la exportación de carne bovina ubicada en Culiacán, Sinaloa, México (24° 43' N; 107° 27' O). El clima es semiseco, con temperatura media anual de 25.9 °C, la temperatura mínima promedio es de 10.5 °C en enero y máxima mayor a 36 °C en los meses de mayo a julio, las lluvias son de los meses julio a septiembre y la precipitación media anual de Sinaloa es de 790 mm (INEGI, 2018). Para la determinación del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) se obtuvieron los registros climatológicos de la estación meteorológica perteneciente al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD, 2017). La fórmula para determinar el ITH fue la siguiente: $ITH = (1.8 Ta + 32) - [(0.55 - 0.55 HR) / 100] (1.8 Ta - 26)$, de acuerdo con Valtorta y Gallardo (1996), donde Ta es la temperatura ambiental expresada en grados Celsius y HR es la humedad relativa expresada en porcentaje.

El ganado bovino evaluado provino de dos regiones del estado de Sinaloa, México: Centro [distancia de traslado ~30 km (225 bovinos)] y Norte [distancia de traslado ~150 km (217 bovinos)]. La evaluación de las contusiones en la canal se realizó en 442 canales que se seleccionaron de forma aleatoria de un total de 18 lotes, con un mínimo de dos lotes muestreados por día y cada lote comprendió entre 20 y 40 canales.

Metodología utilizada para la valoración de las contusiones

Se registró la procedencia, hora de llegada e inicio del proceso de matanza de los bovinos. El sexo y la edad clasificada como <30 ó ≥30 meses se obtuvieron de los registros de la planta de sacrificio. En la línea de matanza mediante formatos previamente diseñados se registraron las variables como el sitio anatómico afectado y las características de las contusiones presentes en la canal bovina. Se consideró como una contusión a cualquier lesión traumática con ruptura de vasos sanguíneos y acúmulo de sangre (Nanni-Costa *et al.*, 2006). La inspección de las canales se realizó sistemáticamente, observando la parte media y laterales de cada canal y anotando la localización y características de cada contusión. Los sitios anatómicos que se tomaron en cuenta correspondieron al dorso, cuarto anterior, costillar, abdomen, cuarto posterior, tuberosidad isquiática, tuberosidad coxal y cola (Figura 1). Además, las contusiones se caracterizaron de la siguiente manera en: forma de la contusión (irregular, moteada, circular, lineal y vías de tren, Figura 2); el tamaño

(pequeña ≥ 2 y ≤ 8 cm, mediana > 8 y ≤ 16 cm y grande > 16 cm) y la severidad fue categorizada de acuerdo con la profundidad del tejido afectado en subcutáneo (grado 1) y muscular (grado 2), de acuerdo con la metodología utilizada por Strappini *et al.* (2012), además, los registros visuales de las contusiones fueron acompañados de fotografías de cada canal, a fin de corroborar las observaciones.



(Strappinni *et al.*, 2010)

Figura 1. Esquema de una canal bovina, los números indican los sitios anatómicos registrados: 1 cuarto posterior, 2 abdomen, 3 costillar, 4 cuarto anterior, 5 dorso, 6 tuberosidad coxal, 7 tuberosidad isquiática y 8 cola.

Donde el 1 corresponde al cuarto posterior, 2 abdomen, 3 costillar, 4 cuarto anterior, 5 dorso, 6 tuberosidad coxal, 7 tuberosidad isquiática y 8 cola.



Figura 2. Contusiones en las canales clasificadas por su forma.

Análisis estadístico

Para el análisis se incluyeron las canales con al menos una contusión y fue definido como "caso". La prevalencia se estimó como el número de casos/total de canales evaluadas x 100. Para buscar diferencia estadística entre la procedencia de los bovinos y las variables de sitio anatómico afectado, forma, tamaño y grado de la contusión se utilizó la prueba exacta de Fisher (Daniel, 2012). Se estableció un alfa ≤0.05 para aceptar diferencia estadística.

Para el análisis de los factores de riesgo se utilizó la frecuencia de canales con contusiones, mismo que se llevó

a cabo en dos etapas: 1) Dicotomización y sumarización de los datos en tablas de contingencia (2 × 2), y 2) análisis con la prueba de Ji-cuadrada para los factores de riesgo: sexo, procedencia, edad y tiempo de espera *ante mortem*. Cuando algún factor de riesgo resultó significativo (P < 0.20) se incluyó en un análisis de regresión logística multivariado.

El modelo general fue:

$$Y = \frac{e^{\beta_0 + \sum \beta_i X_i}}{1 + e^{\beta_0 + \sum \beta_i X_i}}$$

Donde: Y es la probabilidad de un resultado positivo a una contusión, β_0 es el valor del intercepto, β_i son los valores de los coeficientes de regresión, X_i representa el vector de variables independientes (Agresti, 2002). En la presente investigación se incluyeron en el modelo las variables de sexo, región de procedencia y edad. Se incluyeron sólo las variables que resultaron significativas (P < 0.05) que fueron sexo y procedencia de los animales para el modelo de regresión logística multivariado final. Para el análisis se recurrió al procedimiento LOGISTIC de SAS, con el que se estimó el grado de asociación [razón de probabilidades (OR)] y los intervalos de confianza al 95 %, además de los estimadores de los parámetros del modelo de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prevalencia de contusiones y variables asociadas

El rango de valores del ITH calculado osciló entre 69.3 y 75.89 que de acuerdo con índice de seguridad medio ambiental los bovinos se encontraban en estado de alerta de golpe de calor durante los días que fueron sacrificados (López *et al.*, 2016).

En la Tabla 1 se presentan los resultados de prevalencia, distribución de las canales afectadas y variables asociadas con la presentación de contusiones. El 75.8 % de las canales valoradas presentaron algún tipo de contusión (IC95 % = 71.8-79.9). Este valor indica que en el manejo previo al sacrificio existen deficiencias en la aplicación de los protocolos de bienestar animal. En América Latina, se ha observado una alta prevalencia de contusiones, por ejemplo, México (92 %, Miranda de la Lama *et al.*, 2012), Brasil (84 %, Andrade *et al.*, 2008; 54.2 %, Mendonça *et al.*, 2018) y Uruguay (60 %, Huertas *et al.*, 2015; 90.5 %, Huertas *et al.*, 2018), sin embargo, otros autores han reportado prevalencias menores (9.3 %, Godoy *et al.*, 1986; 9-21 %, Strappini *et al.*, 2010), de igual manera, en el continente Europeo Mach *et al.* (2008) observaron un 2.43 %. En el mismo sentido, Jarvis *et al.* (1995) en el Reino Unido observaron contusiones en 97 % de canales bovinas, ocasionadas principalmente durante las operaciones de descarga por impacto contra estructuras, resbalones y caídas, previo al ingreso al cajón de aturdimiento por golpes contra la puerta de los corrales y puerta de guillotina. En otro estudio, Vimiso y Muchenje (2013) observaron un rango de 41 a 65 % de canales con contusiones, las cuales presentaron correlación positiva entre distancia de transporte y la

Tabla 1. Prevalencia y variables asociadas con la presencia de contusiones en canales de bovino.

Table 1. Prevalence and variables associated with bruises in beef carcasses.

	n	Total	Canales contusas	%	P
		442	335	75.8 (71.8-79.9) ¹	
Sexo	Hembra	117	98	83.76	0.018
	Macho	300	218	72.67	
	Total	417			
Procedencia	Centro	225	158	70.22	0.005
	Norte	217	177	81.57	
	Total	442			
Edad (meses)	< 30	333	246	73.87	0.070
	≥ 30	84	70	83.33	
	Total	417			
Tiempo de espera (h)	≤ 12	308	230	74.68	0.38
	> 12	109	86	78.90	
	Total	417			

¹Intervalo de Confianza al 95%.

presencia de contusiones; estos resultados coinciden con los observados en el presente estudio donde la distancia de transporte presentó diferencias (Tabla 1). Esta diferencia en los porcentajes de prevalencia de contusiones se debe al tipo de establecimiento donde se realiza el sacrificio de los bovinos, a la región geográfica donde se realice el estudio, a las diferentes condiciones de transporte, manejo de los animales, aspectos inherentes al animal como la presencia de cuernos y temperamento asociado al tipo racial (Strappini *et al.*, 2009), además del sistema de clasificación utilizado para la evaluación de contusiones en la canal bovina.

En esta investigación, las canales de hembras presentaron un porcentaje mayor de contusiones en comparación con las de los machos (P = 0.018). El resultado anteriormente mencionado coincide con lo observado por Mendonça *et al.* (2018) quienes refieren al sexo como el factor más importante en la presentación de contusiones, observaron que las hembras presentan un 91 % más contusiones que los machos y Crosi *et al.* (2015) mencionan que las hembras presentan una mayor frecuencia respecto a los machos (54 % vs 37 %, P < 0.01); estos autores argumentan que entre machos y hembras existen diferencias en la cobertura de grasa y espesor de la piel, esto hace que a impactos de fuerza similar se generen hematomas de mayor o menor grado de severidad, siendo las hembras más propensas a presentar mayor número de contusiones.

En el presente estudio, los animales provenientes de la zona norte (~150 km) tuvieron 81.57 % de canales con contusiones, mientras que los provenientes de la zona centro (~30 km) presentaron un 70.22 % (P = 0.005); esta diferencia se debe a la distancia de traslado que el ganado bovino procedente de la zona Norte recorrió 150 km en aproximadamente 3 h para arribar a la planta de sacrificio; estos factores,

distancia y tiempo de traslado de los animales, influyen en una mayor presentación de contusiones, tal como lo observaron Moreira *et al.* (2014) al comparar grupos de bovinos que se transportaron distancias menores de 200 km y otros animales transportados por más de 200 km, observaron que las canales con contusiones aumentaron de 43.75 % para distancia menor de 200 km a 95.58 % para bovinos transportados a más de 200 km.

En el presente estudio no se observó diferencia estadística para la edad de los bovinos ($P= 0.07$), tampoco para el tiempo de espera *ante mortem* en los corrales de la planta TIF ($P= 0.38$).

Distribución de las contusiones

En la Tabla 2 se presentan los resultados de prevalencia de contusiones con referencia al sitio anatómico. El dorso presentó la mayor prevalencia con un 47 % (208 canales), seguido del costillar con 44 % (195 canales). En un estudio Godoy *et al.* (1986) observaron que el costillar y el dorso tuvieron menos contusiones (18.4 % en el costillar y 14 % en el dorso) comparadas con lo observado en el presente trabajo y en su caso que los sitios anatómicos de la canal con mayor afectación por contusiones fueron el cuarto posterior con 20.5 %, seguido de 20.3 % en el cuarto anterior; al respecto Strappini *et al.* (2009) mencionan que los golpes que se observan en los sitios anatómicos antes mencionados se debe a que las regiones óseas y musculares más sobresalientes están más expuestas a roces o golpes contra la estructura del vehículo, instalaciones y contra otros animales, diferencias en el peso corporal y la jerarquía entre grupos, entre otros factores. Silva *et al.* (2014) encontraron un 89.06 % de canales

con presencia de contusiones en las que el sitio anatómico más afectado fue el cuarto posterior (71.4 %), seguido por el costillar (13.34 %), cuarto anterior (10.70 %) y 4.55 % en el lomo, independientemente de la distancia recorrida; de acuerdo con la procedencia de los bovinos, en el presente estudio se observaron diferencias estadísticas en el lomo, cuarto anterior, abdomen, tuberosidad isquiática y cola ($P\leq 0.05$). Al respecto Godoy *et al.* (1986) mencionan que la distancia recorrida no es el único factor que puede afectar la cantidad de contusiones observadas en las canales, sino que otros factores como la habilidad del conductor y las condiciones de la carretera, celo de los animales, estados de gestación avanzados en las hembras y no contar con elementos protectores para los bovinos pueden estar involucradas.

En la Tabla 3 se presentan los valores de la clasificación de las contusiones en las canales respecto a su forma, tamaño y grado de severidad. La forma circular prevaleció sobre las demás (62.21 %; 275 canales): cuando el traslado del bovino fue ~150 km se observó 66.82 % y con una distancia de traslado ~30 km fue de 57.78 %, ($P= 0.01$), estas observaciones son similares a lo encontrado por Romero *et al.* (2013) quienes reportaron un 61.3 % de canales con contusiones circulares. Por tamaño, las contusiones pequeñas fueron las de mayor presentación (58.14 %) al igual que las contusiones clasificadas como de grado 1, con 298 canales (67.42 %). Strappini *et al.* (2012) observaron 60.4 % de contusiones pequeñas y 66.2 % grado de severidad 1, resultados similares a los observados en el presente estudio. De acuerdo al tamaño y a la distancia del traslado las contusiones pequeñas se registraron en un 63.59 % de las canales provenientes con un traslado ~150 km, a diferencia de la distancia ~30 km con 52.89 % ($P= 0.005$).

Tabla 2. Distribución de las contusiones de la canal de acuerdo con la procedencia de los bovinos [Centro, (n= 225); Norte, (n=217)] y localización de las contusiones por sitio anatómico.

Table 2. Carcass's bruises distribution according to the cattle's provenance [Center, (n = 225); North, (n = 217)] and anatomical site location of bruises.

Sitio anatómico	Procedencia	Canales con contusión	%	Canales sin contusión	%	P
Dorso	Centro	99	44.0	126	56.0	0.032
	Norte	109	50.23	108	49.47	
Cuarto anterior	Centro	37	16.44	188	83.56	0.036
	Norte	47	21.66	170	78.34	
Costillar	Centro	97	43.11	128	56.89	0.069
	Norte	98	45.16	119	54.84	
Abdomen	Centro	71	31.56	154	68.44	0.019
	Norte	85	39.17	132	60.83	
Cuarto posterior	Centro	16	7.11	209	92.89	0.085
	Norte	21	9.68	196	90.32	
Tuberosidad isquiática	Centro	8	3.55	217	92.44	0.035
	Norte	16	7.37	201	92.62	
Tuberosidad coxal	Centro	16	7.11	209	92.89	0.136
	Norte	13	5.99	204	94.01	
Cola	Centro	22	9.78	203	90.22	0.026
	Norte	33	15.21	184	84.79	

Tabla 3. Clasificación de las contusiones observadas en las canales por zona geográfica de procedencia [Centro, (n= 225); Norte, (n=217)] de los bovinos con base en la forma, tamaño y grado.

Table 3. Bruises's classification observed in carcasses by geographical area of provenance [Center, (n = 225); North, (n = 217)] of cattle based on shape, size and grade.

Variable	Procedencia	Canales con contusión	%	Canales sin contusión	%	P
Forma						
Circular	Centro	130	57.78	95	42.22	0.001
	Norte	145	66.82	72	33.18	
Moteada	Centro	41	18.22	184	81.78	0.049
	Norte	49	22.58	168	77.42	
Lineal	Centro	16	7.11	209	92.89	0.003
	Norte	33	15.21	184	84.79	
Irregular	Centro	23	10.22	203	89.78	0.049
	Norte	14	6.45	203	93.55	
Vías de tren	Centro	7	3.11	218	96.89	0.003
	Norte	15	6.9	202	93.09	
Tamaño						
Pequeña	Centro	119	52.89	106	47.11	0.005
	Norte	138	63.59	79	36.41	
Mediana	Centro	53	23.56	172	76.44	0.070
	Norte	57	26.27	160	73.73	
Grande	Centro	22	9.78	203	90.22	0.012
	Norte	22	10.14	195	89.86	
Grado						
1	Centro	144	64.0	81	36.0	0.024
	Norte	154	70.94	63	29.06	
2	Centro	44	19.56	181	80.44	0.074
	Norte	48	22.12	169	77.88	

Para ambas distancias de viaje, las contusiones de grado de severidad 1 presentaron la mayor prevalencia [30 km, 64 % y 150 km, 70.94 %; (P= 0.02)].

Factores de riesgo

En la Tabla 4 se muestran los resultados de los factores de riesgo de presentar contusiones donde se incluyen el sexo y la procedencia de los bovinos. Las canales de hembras fueron dos veces más propensas a presentar contusiones (OR= 2.05; IC95 %= 1.17-3.59). Este resultado difiere con el referido por Lee *et al.* (2017) quienes no encontraron diferencia significativa entre bovinos de diferente sexo. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo observado por Pargas *et al.* (2014) quienes encontraron que las hembras presentaron una mayor cantidad de contusiones (51.7 %), y mencionan que las hembras de descarte presentan mayor cantidad de traumatismos con mayor frecuencia en los miembros posteriores; esta situación se agrava cuando los animales provienen de subastas y

plazas, lugares donde el manejo se incrementa, así como la movilización. Lo anterior, sin embargo, no coincide con lo que se observa en las condiciones de producción en las zonas geográficas de donde provienen los bovinos incluidos

Tabla 4. Parámetros estimados para la regresión logística multivariada y razón de probabilidades para sexo (n= 417) y procedencia de los bovinos (n= 442) como factores de riesgo en la presencia de contusiones en la canal.

Table 4. Estimated parameters for multivariate logistic regression and probability ratio for sex (n = 417) and cattle's provenance (n = 442) risk factors of bruise's presence in carcass.

Variable	Parámetro	OR ¹	IC ² 95%	P
Intercepto	-1.3499			<0.0001
Sexo	0.3597	2.053	1.174-3.591	0.0117
Procedencia de los bovinos	0.3190	1.893	1.192-3.006	0.0069

¹ Razón de probabilidades, ² Intervalo de confianza.

en el presente estudio, por la razón de que las hembras no son necesariamente de descarte, y las condiciones de manejo entre hembras y machos son similares. Las canales de bovinos provenientes de la región Norte fueron 1.89 veces más propensas a presentar contusiones (OR= 1.893; IC95 %= 1.192-3.006). Al respecto, Romero *et al.* (2012) determinaron que el tiempo de transporte no estuvo relacionado con la presencia de contusiones en los bovinos evaluados (OR= 1.021; IC95 %= 0.992-1.050); aunque el tiempo promedio de transporte fue mayor (6 h), es de esperarse una mayor presencia de contusiones comparado con los resultados en el presente estudio, donde el tiempo de traslado máximo fue de 3 h; los autores mencionan que en la presentación de contusiones pudieran estar involucrados otros factores tales como el sexo, tiempo de permanencia en la planta y tiempo de descanso durante el viaje.

CONCLUSIONES

La prevalencia de contusiones en las canales bovinas supera el 75 %, en el que el sexo y lugar de procedencia se identificaron como factores de riesgo; la localización anatómica de las contusiones demuestra falla en el protocolo de manejo de los bovinos en la planta y por lo tanto, compromete el bienestar del ganado previo al ingreso al cajón de aturdimiento.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México, por el apoyo económico otorgado para la formación del recurso humano.

REFERENCIAS

- Agresti, A. 2002. Categorical Data Analysis. 2nd ed. pp. 710. Wiley Interscience. Hoboken, New Jersey.
- Alende, M., Volpi, G., Pordomingo, A.J., Pighín, D., Grigioni, G., Carduza, F., Pazos, A., Babinec, F. y Sancho, A.M. 2014. Efectos del tiempo de transporte, espera pre-faena y maduración en novillos sobre indicadores de estrés, calidad instrumental y sensorial de la carne. Archivos de Medicina veterinaria. 46: 217-227.
- Andrade, E., Silva, R., Oliveira-Roça, R., Silva, L., Gonçalves, H. y Pinheiro, R. 2008. Ocorrência de lesões em carcaças de bovinos de corte no Pantanal em função do transporte. Ciência Rural. 38: 1991-1996.
- CIAD A. C. 2017. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo [Consultado 25 de agosto 2017]. Disponible en: <http://cln.ciad.edu.mx/mapa/>.
- Cobo, A.C.G. y Romero, P.M.H. 2012. Importancia de la interacción hombre-animal durante el presacrificio bovino: revisión. Biosalud. 11: 79-91.
- Crosi, G., Prado, M., Huertas, S., Imelio, J., Piaggio, J. y Gil, A. 2015. Estudio observacional sobre presencia y caracterización de hematomas en carcasas vacunas de Uruguay. Salud y Tecnología Veterinaria. 3: 41-50.
- Daniel, W.W. 2012. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4a ed. pp 606. Limusa Wiley. México.
- Gallo, C. y Tadich, N. 2005. Transporte terrestre de bovinos: efectos sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. Agro-Ciencia. 21: 37-49.

- Godoy, F.M., Fernández, P.H., Morales, M.M.A., Ibarra, M.L. y Sepúlveda C.C. 1986. Contusiones en canales bovinas. Incidencia y riesgo potencial. Avances en Ciencias Veterinarias. 1: 22-25.
- Hoffman, D.E., Spire, M.F., Schwenke, J.R. & Unruh J.A. 1998. Effect of source of cattle on distance transported to a commercial slaughter facility on carcass bruises in mature beef cows. Journal of the American Veterinary Association. 212: 668-672.
- Hoffman, L.C. and Lühl, J. 2012. Causes of cattle bruising during handling and transport in Namibia. Meat Science. 92:115-124.
- Huertas, S.M., Eerdenburg, F.V., Gil, A y Piaggio, J. 2015. Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact. Veterinary Medicine and Science. 1: 9-15.
- Huertas, S.M., Kempener, R.E.A.M. y van Eerdenburg, F.J.C.M. 2018. Relationship between methods of loading and unloading, carcass bruising, and animal welfare in the transportation of extensively reared beef cattle. Animals. 8: 119.
- INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Sinaloa, 2017. [Consultado 10 de octubre 2017]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094898>.
- Jaramillo, A.C.J. y Martínez, M.J.J. 2010. Epidemiología veterinaria. 1a ed. El Manual Moderno. México.
- Jarvis, A.M., Selkirk, L. y Cockram, M.S. 1995. The influence of source, sex class and pre-slaughter handling on the bruising of cattle at two slaughterhouses. Livestock Production Science. 43: 215-224.
- Lee, T.L., Reinhardt, C.D., Bartle, S.J., Vahl, C.I., Siemens, M. y Thomson, D.U. 2017. Assessment of risk factors contributing to carcass bruising in fed cattle at commercial slaughter facilities. Transnational Animal Science. 1: 489-497.
- López, G., Brizuela, A., Rondán, G., Lissaso C., Kemerer, A y de los Santos, M. 2016. Determinación del índice de temperatura y humedad (ITH) para vacas lecheras en el departamento Nogoyá, Entre Ríos. Revista Científica Agropecuaria. 20:57-56.
- Mach, N., Bach, A., Velarde, A. y Devant, M. 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. Meat Science. 78: 232-238.
- Mendonça, F.S. Vaz, R.Z., Cardoso, F.F., Restle, J., Vas, F.N., Pascoal, L.L., Reimann, F.A. y Boligon, A.A. 2018. Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses. Animal Production Science. 58: 385-392.
- Miranda de la Lama, G., Leyva, I.G., Barreras-Serrano, A., Pérez-Linares, C., Sánchez-López, E., María, G.A. y Figueroa-Saavedra, F. 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. Tropical Animal and Health Production. 44: 497-504.
- Moreira, P.S.A., Polizel-Neto, A., Martins, L.R., Lourenço, F.J., Palhari, C. y Faria, F.F. 2014. Ocorrência de hematomas em carcaças de bovinos transportados por duas distâncias. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 15: 689-695.
- Mpakama, T., Chulayo, A.Y. y Muchenje V. 2014. Bruising in slaughter cattle and its relationship with creatine kinase levels and beef quality as affected by animal related factors. Asian Australas Journal of Anim Science. 27: 717-725.
- Nanni-Costa, L., Lo Fiego, D.P., Tassone, F. y Russo, V. 2006. The relationship between carcass bruising in bulls and behavior

- observed during pre-slaughter phases. *Veterinary Research Communications*. 30: 379-381.
- Pargas, H.L., Huerta-Leidenz, N., Fuentes, M., Mármol J., Villegas, Y., Méndez, E., Rangel, J.C. y Colmenares, D. 2014. Factores que inciden sobre la frecuencia de defectos físicos causantes de decomisos parciales en canales bovinas de distinto origen y clase sexual y sus implicaciones económicas. *NACAMEH*. 8: 65-83.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F. y Barreras-Serrano, A. 2008. Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en clima desértico. *Archivos de Zootecnia*. 57: 545-547.
- Romero, M.H., Gutiérrez, C., y Sánchez, J.A. 2012. Evaluation of bruises as an animal welfare indicator during pre-slaughter of beef cattle. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 25: 267-275.
- Romero, M.H. y Sánchez, J.A. 2011. Implicaciones de la inclusión del bienestar animal en la legislación sanitaria colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 24: 83-91.
- Romero, M.H., Uribe-Velásquez, L.F., Sánchez, J.A. y Miranda-de la Lama, G. 2013. Risk factors influencing bruising and high muscle pH in colombian cattle carcasses due to transport and pre-slaughter operations. *Meat Science*. 95: 256-263.
- Silva da, F., Nascimento, M.R.B.M., de Oliveira, C.H.C., Ribeiro, M.H., de Fátima, C.K. y Giaretta, B.N. 2014. Quantity, location and description of bruises in beef cattle slaughtered under sanitary inspection. *Acta Scientiae Veterinariae*. 42: 1-6.
- Statistical Analysis System Institute. 2002 (SAS). Versión 9.0. USA.
- Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H.M., Gallo, C. y Kemp, B. 2010. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science*. 86: 859-864.
- Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H.M., Gallo, C. y Kemp B. 2012. Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms livestock markets. *Animal*. 6: 502-509.
- Strappini, A.C., Metz, J.H.M., Gallo, C. y Kemp, B. 2009. Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal*. 3: 728-736.
- Valtorta, S. y Gallardo, M. 1996. El estrés por calor en producción lechera. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Miscelánea*. 81: 173-185.
- Vímiso, P. y Muchenje, V. 2013. A survey on the effect of transport method on bruises, pH and color of meat from cattle slaughtered at a South African commercial abattoir. *South African Journal of Animal Science*. 43: 105-111.

CAPÍTULO 3. Risk factors associated with the prevalence and characteristics of carcass bruising in cattle: A meta-analysis and systematic review of studies from the Americas

De acuerdo con la reglamentación del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, el capítulo 3 se integra por el artículo enviado o publicado en revistas científicas incluidas en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) o en Journal of Citation Report®. El escrito que integra este apartado pretende contribuir parcialmente al objetivo general del documento de tesis; el artículo fue enviado a la revista Preventive Veterinary Medicine la cual es una de las principales revistas que publican reportes de salud animal y medicina preventiva veterinaria.

Artículo 2.

Título: Risk factors associated with the prevalence and characteristics of carcass bruising in cattle: A meta-analysis and systematic review of studies from the Americas

Autores: J.N. Sanchez-Perez, B.J. Félix-Leyva, D.Z. Velazquez-Valdez, J.R. Rosiles, A. Montero-Pardo, A.C. Strappini, C. Gallo, J.J. Portillo-Loera, D. Diaz, H. Davila-Ramos

Revista: Preventive Veterinay Medicine

ISSN: 0167-5877

Factor de impacto: 2.302

Manuscript Details

Manuscript number	PREVET_2020_308
Title	Risk factors associated with the prevalence and characteristics of carcass bruising in cattle: A meta-analysis and systematic review of studies from the Americas
Article type	Research Paper

Abstract

Bruises cause pain and stress to animals during the pre-slaughter stages and thus threaten their welfare. Consequently, it is fundamental to identify countries of a high incidence of bruising and understand the risk factors that originate carcass bruising. We conducted a meta-analysis and a systematic review to estimate the prevalence of bruises and examine the association between the main characteristics of the bruises and the extrinsic/intrinsic risk factors as published in studies from the Americas. Studies reporting the prevalence, age, shape, severity, anatomical site, and size of the bruises in cattle carcasses assessed at the abattoir were retrieved from electronic databases. We included 46 studies from nine countries that involved 928,447 cattle carcasses. Forty-one studies that reported the prevalence of bruises were included in the meta-analysis and showed an overall 60.8% prevalence (95% CI: 52.2 to 69.0) with heterogeneous values across countries. For the systematic review, we included 27 studies that reported the characteristics of the bruises and found that small-sized bruises scored with the lowest severity affecting mostly the hindquarter were highly prevalent. These 27 studies reported 61 associations between the characteristics of bruises and risk factors, among which extrinsic risk factors were mainly assessed. Our findings confirm a high prevalence of carcass bruising that varied between countries from the Americas. Transportation conditions, handling practices, and facilities of the abattoir are among the main risk factors associated with carcass bruising. Our results highlight the need for strategies that reduce the prevalence of bruises and mitigate their impact on welfare and productivity in cattle.

Keywords	animal welfare; bovine; bruises; risk factors; slaughterhouse.
Taxonomy	Cattle, Statistics for Veterinary Science, Animal Stress Behavior, Veterinary Medicine
Corresponding Author	Daniel Diaz
Corresponding Author's Institution	Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autonoma de Mexico
Order of Authors	JAIME NOE SANCHEZ PEREZ, Briseyda Félix, Diana Velázquez, Jose Rosiles, Arnulfo Montero, Ana Strappini, Carmen Gallo, Juan Robles Estrada, Jesus Portillo, Daniel Diaz, Horacio Dávila Ramos
Suggested reviewers	Laura Green, Pol Llonch

Submission Files Included in this PDF

File Name [File Type]

Cover_letter.docx [Cover Letter]

Highlights.docx [Highlights]

Manuscript Sanchez 2020.docx [Manuscript File]

Fig 1.tiff [Figure]

Fig 2.tiff [Figure]

Fig 3.tiff [Figure]

Fig 4.tiff [Figure]

declaration-of-competing-interests.docx [Conflict of Interest]

SM_Sanchez_2020.docx [Supplementary Material]

To view all the submission files, including those not included in the PDF, click on the manuscript title on your EVISE Homepage, then click 'Download zip file'.

Research Data Related to this Submission

There are no linked research data sets for this submission. The following reason is given:
Data will be made available on request

Dear Marcus Doherr, Geoffrey Fosgate, Polychronis Kostoulas

Co-Editors-in-Chief

Preventive Veterinary Medicine

20 April 2020

I am pleased to submit an article entitled "**Risk factors associated with the prevalence and characteristics of carcass bruising in cattle: A meta-analysis and systematic review of studies from the Americas**" by Sanchez-Perez, J.N., Felix-Leyva, B.J., Velazquez-Valdez, D.Z., Rosiles, J.R., Montero-Pardo, A., Strappini, A.C., Gallo, C., Robles-Estrada, J.C., Portillo-Loera, J.J., Diaz, D., and Davila-Ramos, H. for consideration for publication in *Preventive Veterinary Medicine* journal.

In this manuscript, we present a study in which random-effects meta-analyses were used to estimate the prevalence of carcass bruising in studies from the Americas. Additionally, we also conducted a systematic review to summarize the evidence regarding the prevalence of the main characteristics of the bruises and their association with extrinsic/intrinsic risk factors. Our study included 46 primary studies from nine countries and involved nearly 930,000 cattle carcasses. Our study was conducted and reported in compliance with the PRISMA statement and the Cochrane guidelines for systematic reviews and meta-analysis.

Our main findings showed a pooled overall prevalence of 60.8% with national estimations showing substantial heterogeneity. Additionally, we calculated an overall mean value of 2.9 bruises per carcass, thus suggesting that animal welfare is highly compromised in cattle from the Americas. We found that the severity, the anatomical site, and the size of the bruises were the visual characteristics most frequently reported, whereas age and shapes of the bruises were scarcely assessed. The studies reviewed showed that bruises affected mostly the hindquarter and that small-sized bruises scored with the lowest severity were highly prevalent. Our study revealed that most of the studies evaluated extrinsic causes for carcass bruising. Our results highlight the need for strategies that reduce the prevalence of bruises and mitigate their impact on welfare and productivity in cattle.

We believe that our study integrates well within the context of animal welfare and the factors that affect the productivity of cattle. To the best of our knowledge, our study represents the first meta-analysis that estimates the prevalence of carcass bruising as well as the first systematic approach which critically assess the association between risk factors and

carcass bruising in studies from the Americas, which is a region characterized by a high volume of beef production and where bruises are highly prevalent.

On behalf of the authors, I declare that the present manuscript has not been published or submitted to any other journal. Additionally, I confirm that this work is original and that all the authors have approved the contents of this paper. Finally, all authors declare no conflict of interest.

Thank you very much for your consideration.

Sincerely,

Horacio Dávila Ramos, Ph.D.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Autónoma de Sinaloa, México
davila-ramos@uas.edu.mx

Highlights

- Overall, the prevalence of cattle carcass bruising in the Americas is 60.8%
- There is high heterogeneity in the prevalence of bruises both between and within countries
- Small-sized bruises of low severity that affect the hindquarter are highly prevalent
- Transportation conditions, handling practices, and abattoir facilities are risk factors for bruising
- The animal welfare of cattle from the Americas is seriously threatened by bruises

1 **Risk factors associated with the prevalence and characteristics of carcass bruising in cattle:**
2 **A meta-analysis and systematic review of studies from the Americas**

3 Jaime N. Sanchez-Perez^a, Briseyda J. Felix-Leyva^a, Diana Z. Velazquez-Valdez^a, Jose R.
4 Rosiles^b, Arnulfo Montero-Pardo^a, Ana C. Strappini^c, Carmen Gallo^c, Juan C. Robles-Estrada^a,
5 Jesus J. Portillo-Loera^a, Daniel Diaz^{a,d}, Horacio Davila-Ramos^{a,*}

6 Running head title: Prevalence and characteristics of carcass bruising

7 ^aFacultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán
8 Rosales 80246, Sinaloa, México

9 ^bDepartamento de Nutrición Animal y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y
10 Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México
11 04510, México

12 ^cInstituto de Ciencia Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile,
13 Casilla 567, Isla Teja, Valdivia, Chile

14 ^dCentro de Ciencias de la Complejidad (C3), Universidad Nacional Autónoma de México,
15 Ciudad Universitaria, Ciudad de México 04510, México

16 *Corresponding author: Unidad Experimental de Pequeños Rumiantes II, FMVZ, UAS.
17 Boulevard San Ángel 3886, Predio Las Coloradas, Culiacán Rosales 80246, Sinaloa, México.
18 Tel: +52 667-476-9917
19 E-mail: davila-ramos@uas.edu.mx

20

21

22 **ABSTRACT**

23 Bruises cause pain and stress to animals during the pre-slaughter stages and thus threaten their
24 welfare. Consequently, identifying countries of a high incidence of bruising and understanding
25 the risk factors that originate carcass bruising are fundamental. We conducted a meta-analysis
26 and a systematic review to estimate the prevalence of bruises and examine the association
27 between the main characteristics of the bruises and the extrinsic/intrinsic risk factors as
28 published in studies from the Americas. Studies reporting the prevalence, age, shape, severity,
29 anatomical site, and size of the bruises in cattle carcasses assessed at the abattoir were retrieved
30 from electronic databases. We included 46 studies from nine countries that involved 928,447
31 cattle carcasses. Forty-one studies that reported the prevalence of bruises were included in the
32 meta-analysis and showed an overall 60.8% prevalence (95% CI: 52.2 to 69.0) with
33 heterogeneous values across countries. For the systematic review, we included 27 studies that
34 reported the characteristics of the bruises and found that small-sized bruises scored with the
35 lowest severity affecting mostly the hindquarter were highly prevalent. These 27 studies reported
36 61 associations between the characteristics of bruises and risk factors, among which extrinsic
37 risk factors were mainly assessed. Our findings confirm a high prevalence of carcass bruising
38 that varied between countries from the Americas. Transportation conditions, handling practices,
39 and facilities of the abattoir are among the main risk factors associated with carcass bruising. Our
40 results highlight the need for strategies that reduce the prevalence of bruises and mitigate their
41 impact on welfare and productivity in cattle.

42

43 **Keywords:** animal welfare; bovine; bruises; risk factors; slaughterhouse.

44 **1. Introduction**

45 Bruises are among the most prevalent physical injuries that occur during the pre-slaughter stage
46 of cattle. A bruise –defined as superficial discolorations of tissue due to hemorrhages caused by
47 rupture of the vascular supply and the accumulation of blood and serum at the site of the
48 contusion (Capper, 2001)– can develop after the application of force. This type of injury leads to
49 swelling and inflammation and causes pain and sensitivity to pressure (Gregory and Grandin,
50 1998); consequently, bruises are a serious problem due to the inflicted suffering and fear that
51 affects the emotional state of the cattle and impairs their welfare (Broom, 1998). Due to the
52 absence of a skin rupture and the thick coat, bruises in cattle can only be assessed postmortem
53 once the hide is removed (Hoffman and Lühl, 2012). Bruises are straightforward to visualize and
54 quantify on the carcasses, therefore they can be used as an indicator of impaired animal welfare
55 during the pre-slaughter handling.

56 Bruises originate due to the effect of extrinsic or intrinsic factors, which represent a risk for the
57 occurrence of bruising. Extrinsic risk factors include all circumstances external to the cattle, such
58 as handling practices on the farm, the origin of the cattle, transportation conditions, facilities at
59 the abattoir, and handling during pre-slaughter processes (Ferguson and Warner, 2008; Miranda-
60 de la Lama et al., 2014). In contrast, intrinsic risk factors include elements inherent to the nature
61 of the animal and include breed, sex, age, presence of horns, fat cover, and temperament of the
62 cattle (Fordyce et al., 1988).

63 Bruises also increase the risk of meat contamination due to the higher bacterial growth induced
64 by the accumulation of blood at the injured site (Cruz-Monterrosa et al., 2017). Thus, bruised
65 meat is unsuitable for consumption and causes production losses due to the trimming of damaged
66 tissues and downgrading of the carcass (Chambers et al., 2004; Folitse et al., 2017). Furthermore,

67 bruised cattle are prone to develop dark, firm and dry meat due to the preslaughter stress suffered
68 by the animals (Vimiso and Muchenje, 2013). Therefore, carcass bruising is linked to a negative
69 impact on meat quality and cattle productivity (Ferguson and Warner, 2008).

70 Worldwide, the Americas provide 34.6% of the total cattle population (FAOSTAT, 2019), and
71 some countries of this region are the largest producers and exporters of beef cattle. In 2018, the
72 USA, Brazil, and Argentina contributed significantly, with 12.2, 9.9 and 3.0 million tons,
73 respectively, to the total world bovine meat output of 71.1 million tons produced. Furthermore,
74 Mexico and Canada showed an increase in meat production between 2017 and 2018 (FAO,
75 2019).

76 Despite the important contribution of countries from the Americas to the world production of
77 beef, carcass bruising is still highly prevalent in several countries of the region and thus
78 compromises cattle welfare (Paranhos da Costa et al., 2012). However, no study to date has
79 estimated the magnitude of carcass bruising and their main causes within the region. Quantifying
80 the prevalence of bruises in countries of America can be used to measure regional and national
81 progress towards increased welfare of cattle. Moreover, given that carcass bruising is
82 preventable, efforts to promote animal welfare have focused on improving handling practices
83 that will reduce traumatic lesions and livestock stress (De Vries et al., 2011). It is also
84 fundamental to identify the stages and suboptimal conditions that cause bruises during the pre-
85 slaughter period (Losada-Espinosa et al., 2018). In this context, some characteristics of the
86 bruises such as shape, age, and the anatomical site can be used to infer both when the bruises
87 were sustained and the mechanism that caused them (Grandin, 2017). The objectives of this
88 study were: 1) to summarize the available scientific evidence regarding the prevalence and main

89 characteristics of cattle bruises and 3) to examine the association between extrinsic and intrinsic
90 risk factors that determine the characteristics of bruises reported in studies from the Americas.

91 **2. Methods**

92 *2.1 Protocol and questions addressed in the study*

93 For this study, we developed a protocol *a priori* following the Preferred Reporting Items for
94 Systematic reviews and Meta-analyses Protocol (PRISMA-P) statement (Moher et al., 2015),
95 available at the Open Science Framework website
96 (https://osf.io/pwutm/?view_only=9f5324eed0334ae0a71ee27c4f449111). We conducted a meta-
97 analysis to address the question: What is the prevalence of carcass bruising in cattle evaluated at
98 the slaughterhouse in countries from the Americas? Additionally, we performed a systematic
99 review to answer: Which are the main characteristics of bruises reported in studies from the
100 Americas? and Which are the extrinsic or intrinsic risk factors most commonly associated with
101 the reported characteristics of the bruises? Our study was conducted and reported following the
102 Cochrane guidelines (Higgins and Green, 2011) and the PRISMA statement (Liberati et al.,
103 2009).

104 *2.1 Eligibility criteria, information sources, and search strategy*

105 The inclusion criteria varied according to the approach of the study (**Table 1**): for the meta-
106 analysis, 1) the study reported the prevalence of the bruises in cattle carcasses; for the systematic
107 review, 1) the study included at least one characteristic of the bruises (size, severity, shape, age,
108 and anatomical site), or the amount of removed meat due to bruising, and 2) the study included at
109 least one risk factor, either intrinsic (presence of horns, breed, sex, fat cover,
110 temperament/behavior of the animal, genetic group, and body weight), extrinsic (vehicle type,

111 distance traveled, transportation time, lairage, handling, use of electric prods, source of the cattle,
112 and stocking density) or a mixture of the two. In both cases, we included cross-sectional,
113 experimental, retrospective, surveys or case studies conducted in countries from the Americas
114 and published as peer-reviewed primary full-text studies in English, Portuguese or Spanish from
115 1980 to May 2019. It is worth mentioning that according to the defined inclusion criteria, we
116 expected that some studies would be included in both the meta-analysis and the systematic
117 review; thus, depending on the characteristics of the individual studies, these were included
118 either in the meta-analysis, the systematic review or both.

119 Scopus, PubMed, ScienceDirect, Virtual Health Library, CAB abstracts, Web of Science, and
120 Redalyc were consulted to find relevant literature. To find the most relevant studies for each
121 approach, the search was conducted separately to find specific studies for the meta-analysis
122 (prevalence) and the systematic review (bruise characteristics and risk factors). Two reviewers
123 conducted independently the electronic database searches from 5 April to 30 May 2019. In both
124 cases, we used common search terms for the population: (bovine OR cattle OR cow OR bull)
125 AND (bruises OR bruising OR bruised). For the meta-analysis, we used the following search
126 terms in conjunction with the population terms: (prevalence OR incidence OR occurrence OR
127 frequency). Whereas for the systematic review, we used the following search terms in
128 conjunction with the population terms: (characteristics OR traits OR size OR severity OR score
129 OR color OR removed meat) AND (risk factor OR horns OR sex OR fat cover OR handling OR
130 lairage OR transport OR time OR stocking density). Representative full searches per database for
131 one reviewer are presented in **Web-appendix 1** of the supplementary material. Once the searches
132 were completed, records were downloaded and gathered into a single EndNote X9 (Thomson

133 Reuters, USA) database; next, we classified the studies for being included in either the meta-
134 analysis, the systematic review or both.

135 *2.2 Study selection and data extraction*

136 From the EndNote database containing all the downloaded records, one reviewer first removed
137 the duplicates both automatically and manually. Then, the same reviewer conducted the
138 screening process: first, based on the title, and second, based on the abstract. Selection for
139 eligibility of the final trials was performed independently by two reviewers using a standardized
140 questionnaire based on the eligibility criteria described in the *a priori* protocol. Before the
141 discrepancy corrections were performed by another reviewer, we used Cohen's Kappa statistic to
142 assess the overall agreement rate between reviewers, and we found a moderate kappa value of
143 0.719 ($T = 6.82, p = 0.000$).

144 A single reviewer extracted data from the selected studies using a predefined standardized
145 questionnaire described in the protocol. The extracted data were registered into a spreadsheet,
146 which included a codebook to ensure proper handling of the information.

147 *2.3 Assessment of the risk of bias in individual studies*

148 To evaluate the risk of bias of individual studies, we used a modification of the method described
149 by Higgins and Green (2011). The studies were rated as having a Low, High or Unclear risk of
150 bias using the following criteria: 1) appropriate definition of the population included in the study,
151 2) description of a case definition of a bruise, and 3) use of a standardized system for scoring
152 carcass bruising in cattle. The results are summarized as the proportion of studies that showed a
153 low or high risk of bias per criterion.

154 *2.4 Summary measures and statistical data analyses*

155 The prevalence of carcass bruising was quantitatively summarized using a meta-analysis of
156 proportions to obtain a pooled estimation from individual studies using the Freeman-Tukey
157 double arcsine transformation with 95% exact confidence intervals (Nyaga et al., 2014). A
158 random-effects model (D-L) was defined as *a priori* because of the expected heterogeneity
159 across the studies (Borenstein et al., 2007). To estimate the national prevalence of carcass
160 bruising, we aggregated the studies from a single country by performing sub-groups meta-
161 analysis. As described elsewhere (Diaz et al., 2019; Romo-Barron et al., 2019), Cochran's Q
162 statistic was used to test for significant heterogeneity across trials, Tau² was used to estimate
163 between-study variance, and the I² statistic was used to determine the proportion of variation in
164 the effects due to variations in true effects rather than sampling error.

165 Additionally, we performed a multivariate random-effects meta-regression analysis adjusted for
166 multiplicity (Harbord and Higgins, 2008) to determine whether the study characteristics (latitude,
167 study design, language, gender, the percentile of the sample size, and publication year) partially
168 explained the heterogeneity in the estimated bruise prevalence values found among the studies
169 (Lean et al., 2009). We did not assess publication bias using funnel plots or Egger regression
170 analysis, as it is not considered relevant in prevalence studies (Hunter et al., 2014). All analyses
171 were performed using Stata 12 (StataCorp, TX, USA), and graphs were constructed using Prism
172 8 (GraphPad, Inc., CA, USA). A value of $p < 0.05$ was considered significant.

173 **3. Results**

174 *3.1 Study selection and characteristics of the studies*

175 After searching the electronic databases, we found 888 records that matched the search terms, of
176 which only 241 records remained following duplicate removal. The screening process provided a
177 total of 87 records that were available in full text for the eligibility assessment. After applying
178 the inclusion criteria to the full texts, 46 studies were excluded. A full list of the excluded studies
179 and the main reasons are summarized in **Web-appendix 2**. Forty-one studies were included
180 following the eligibility assessment and five additional pre-screened studies were added to give a
181 total number of 46 studies for the final narrative synthesis. Of these, 41 studies were included in
182 the meta-analysis because they reported the prevalence of carcass bruising, whereas 27 studies
183 that reported at least one characteristic of the bruises and a risk factor were included in the
184 systematic review (**Fig. 1**). A list of the included studies and their general characteristics are
185 provided in **Web-appendix 3** and **4**. Scopus, Web of Science, and PubMed were the three
186 databases that contributed the most to the total number of records (72.5%, 644/888 studies).

187 The 46 studies involved 928,447 cattle carcasses and were conducted in nine countries, with
188 Brazil, the USA, and Chile providing the highest number of studies (15, 10, and 8, respectively).
189 English was the main language for publishing (**Fig. 2A**) and most of the studies (26/46) had a
190 cross-sectional design, whereas experimental, retrospective, and case report studies were the
191 least frequent (**Fig. 2B**). Of the studies, 71.7% (33/46) were published since 2010 (**Fig. 2C**). For
192 the population included in the studies, the age and weight of the cattle were seldom reported,
193 60.8% (28/46) of the studies reported either the sex or the commercial categories, and the
194 specific breed evaluated was reported only in 20/46 studies.

195 *3.2 Risk of bias assessment*

196 Among the 46 studies included, the proportion of the studies judged as having a low risk of bias
197 ranged from 30.4 to 60.9% regarding the three criteria defined in our study. Among the studies,
198 69.6% (32/46) failed to report a case definition of a bruise, and 39.1% (18/46) did not report the
199 use of a standardized system for scoring bruises. Consequently, these two judgments were the
200 main issues that caused a high risk of bias (**Fig. 2D**). Of the studies, 39.1% (18/46) had an
201 unclear risk of bias for the inclusion of a population definition, mostly because these were
202 surveys and retrospective studies in which the report of such criterium is difficult due to the
203 nature of such studies. **Web-appendix 5** summarizes the risk of bias assessment per study.

204 *3.3 What is the prevalence of carcass bruising in cattle evaluated at the slaughterhouse in* 205 *countries from the Americas?*

206 Among the 41 studies included in the meta-analysis, the estimated prevalence of carcass bruising
207 was 60.8% (95% CI: 52.2 to 69.0). The proportion of variation attributable to heterogeneity
208 across the studies was significant as judged by the I^2 statistic (99.9%, $p = 0.000$; **Fig. 3A**). The
209 estimation of carcass bruising prevalence at the national level revealed a highly heterogeneous
210 pattern; prevalence was as low as 19.5% in Paraguay and as high as 88.9% in Mexico, with
211 countries such as Brazil, Uruguay, Canada, and Colombia showing values between 66.9% and
212 72.9% (**Table 2**). Besides, from 19 studies that reported the number of bruises per carcass, we
213 calculated an overall mean value of 2.9 (SD, ± 1.4) bruises per carcass. There was national
214 variation as Argentina and Colombia showed relatively high values of 4.7 (± 3.7) and 3.9 (± 1.8)
215 bruises per carcass, whereas in Chile we found a below-average value of 2.1 (± 1.0) bruises per
216 carcass (**Table 2**). Additionally, we assessed how the prevalence of bruises has evolved through
217 time in studies from the Americas. For this, we performed a sub-group meta-analysis in which
218 the studies were segmented by decades from 1990 to 2020. The results showed a trend towards

219 increased values across decades. Prevalence doubled up from 30.7% (3.9 to 68.6) during 1990-
220 2000 to 66.4% (53.3 to 78.3) in 2010-2020, though the number of studies did also increase in
221 recent decades (**Web-appendix 6**).

222 The percentile of the sample size (<25%, 25-50%, 50-75%, and > 75%) and the study design
223 (retrospective, case-study, survey, cross-sectional or experimental) coded as dummy variables
224 were selected as significant covariates in the multivariate meta-regression analysis (Estimated
225 prevalence = $35.0 - 7.4 * \text{percentile} + 12.5 * \text{study design}$). As shown in the graphs from the
226 univariate analyses (**Fig. 3B**), the estimation of the prevalence was lower as the sample size
227 increased, whereas the prevalence values increased as the level of evidence from the studies also
228 increased. Therefore, a study with a lower sample size (<25th percentile) but a higher level of
229 evidence (cross-sectional or experimental study) had a higher prevalence of carcass bruising. On
230 the contrary, the study with the highest percentile of sample size (>75th) and a reduced level of
231 evidence (retrospective study) reported lower estimates of bruising prevalence.

232 *3.4 Which are the main characteristics of bruises reported in studies from the Americas?*

233 The 27 studies selected for the systematic review included at least one characteristic of the
234 bruises and the exposure to risk factors (**Web-appendix 4**). As summarized in **Figure 4**, the
235 anatomical site and the severity of the bruises were the two characteristics most frequently
236 reported (19 and 21 studies, respectively). In contrast, the age of the bruises and the shape of the
237 bruises were less frequently assessed with five studies each. Because the amount of removed
238 meat due to bruising is not a characteristic of the bruises, specific results for this particular
239 outcome are presented in **Web-appendix 7**.

240 Among the five studies that reported the age of bruises, the mean prevalence of fresh and old
241 bruises was 57.7% (± 24.8) and 52.2% (± 16.1), respectively. The age of the bruises was only
242 associated with extrinsic factors such as the transportation conditions/distance traveled. Neither
243 the handling practices/abattoir facilities nor the source of the cattle were significantly associated
244 with the age of the bruises (**Fig. 4A**).

245 Nineteen studies reported the anatomical location of the bruises, among which the hindquarter
246 showed the highest prevalence ($37.5\% \pm 22.2$) and the forequarter the lowest ($17.1\% \pm 10.8$).
247 The mean prevalence of bruising of the second third (middle region/loin) and the hips were
248 similar ($28.9\% \pm 18.8$ and $28.3\% \pm 25.5$, respectively). Only 4/19 studies showed a significant
249 relationship between the anatomical position of the bruises and the handling practices/abattoir
250 facilities or the group of various causes. Two studies did not find a significant effect of the
251 breed/presence of horns and transportation conditions/distance traveled (**Fig. 4B**).

252 Bruises scored as the lowest severity (Grade I, affecting only subcutaneous tissue) were
253 highly prevalent and varied broadly from 19.8% to 97.1% according to 17/21 studies in which
254 we found a mean prevalence of 66.4% (± 20.3). In contrast, bruises scored either as Grade II
255 (affecting subcutaneous and muscular tissue) or III (affecting bone as well) were less prevalent
256 ($26.8\% \pm 16.4$ and $6.5\% \pm 10.9$, respectively). Most of the studies (14/21) evaluated extrinsic
257 risk factors, and only 8/21 studies included a statistical analysis to test the strength of association.
258 Nevertheless, seven studies that report a significant relationship found that transportation
259 conditions/distance traveled, handling practices/abattoir facilities, and the source of the cattle
260 were the causes most likely explaining the severity of the bruises (**Fig. 4C**).

261 Irregular- and circular-shaped bruises were the most prevalent forms found in the studies
262 (56.8% ± 43.0 and 54.9% ± 37.5, respectively). In contrast, the prevalence of mottled, tramline,
263 and linear shapes was lower (mean range 2.5% to 11.1%). Among the studies, 2/5 reported a
264 significant association between the shape of the bruises and the source of the cattle or the group
265 of various causes. Two more studies failed to report a statistical analysis to test the strength of
266 association (**Fig. 4D**).

267 Small- and medium-sized bruises were highly prevalent in the studies (44.1% ± 21.3 and
268 36.1% ± 15.7, respectively) compared to large-sized bruises (17.3% ± 13.3). Most of the studies
269 (9/11) used a three-category scale (small, 2-8 cm; medium, 9-16 cm; and large, >16 cm). Among
270 the studies, 8/11 included extrinsic factors while the remaining studies reported a mixture of
271 causes. Five studies found a statistical association between the size of the bruises and the risk
272 factors such as transportation conditions/distance traveled, and handling practices/abattoir
273 facilities. Two studies did not find a statistical association between the size of the bruises and the
274 transportation conditions/distance traveled or the source of the cattle (**Fig. 4E**).

275 *3.5 Which are the extrinsic or intrinsic risk factors most commonly associated with the reported*
276 *characteristics of the bruises?*

277 Among the 27 studies, we identified 61 associations between the characteristics of the bruises
278 and the extrinsic or intrinsic causes. Extrinsic risk factors were the most frequent cause assessed
279 in the studies followed by a mixture of extrinsic and intrinsic causes (40 and 15 associations,
280 respectively). Among the 61 associations described in the studies, 34 failed to report a statistical
281 analysis of results and only 19 revealed a significant association ($p < 0.05$) between the
282 characteristics of the bruises and a risk factor. Due to the extensive list of extrinsic and intrinsic

283 factors assessed in the studies, we grouped similar causes into descriptive categories according to
284 the nature of such factors. Transportation conditions/distance traveled, handling
285 practices/abattoir facilities, and various (mixed extrinsic and intrinsic factors) were the three
286 main groups of risk factors assessed in the reviewed studies. Intrinsic factors such as the source
287 of the cattle, sex/age group, and the breed/presence of horns were included only in six studies
288 (Fig. 4).

289 **4. Discussion**

290 *4.1 Summary and implications of the evidence for the prevalence of the bruises*

291 We found that on average, 6 out of 10 cattle assessed in studies in the Americas suffered a bruise
292 (pooled prevalence 60.8%). Despite global awareness of the need to increase cattle welfare
293 (Veissier et al., 2008), our study confirms that in the Americas the occurrence of carcass bruising
294 represents a serious issue during the pre-slaughter stage (Gallo and Huertas, 2016). The existence
295 of poly-contused animals further aggravates this issue because we found that on average cattle
296 carcasses presented three bruises, though some studies reported even higher values (range 3.4 to
297 7.4 bruises per carcass). Transportation conditions are frequently associated with poly-contused
298 carcasses, especially when severe damage is present (affecting muscular or bone tissue) or when
299 the entire carcass is bruised, thus indicating that cattle might have fallen and was trampled by
300 other cattle (Strappini et al., 2009). Both the high prevalence of bruising and the presence of
301 poly-contusions highlight how serious the threat to cattle welfare in the Americas is. This high
302 incidence of bruising is alarming and unacceptable, especially considering that bruises cause
303 pain, stress, and consequent unnecessary suffering which is preventable (Dawkins, 2008;
304 Grandin, 2018). The prevention of bruising in cattle during the pre-slaughter period is an ethical

305 responsibility of the stakeholders from the meat industry and it has been shown in some
306 American countries that training of animal handlers and transporters can significantly improve
307 the welfare conditions of cattle (Paranhos da Costa et al., 2012).

308 There was substantial heterogeneity in the prevalence of bruising among countries. Except for
309 Argentina, Chile, and Paraguay, the remaining countries had estimated values >50%. Such a
310 trend represents a concern given that the region of the Americas produces and exports high
311 volumes of beef cattle (Gallo and Huertas, 2016). Therefore, identifying countries in which
312 bruises are highly prevalent will allow developing tailored measures aimed at decreasing the
313 incidence of bruises and can have a greater impact on improving the welfare of cattle during pre-
314 slaughter stages. Factors such as handling practices, transportation conditions, and quality/safety
315 of the abattoir facilities stand as the main causes for the differences observed in the prevalence of
316 bruises at the national level (Swanson and Morrow-Tesch, 2001; Miranda-de la Lama et al.,
317 2014). Furthermore, variability between countries may be due to the specific geographic
318 conditions (distances, mountains, roads), their socioeconomic indicators, and the existing
319 legislation, because all of them contribute to different set-ups that might differentially influence
320 the incidence of carcass bruising (Gallo and Tadich, 2008; Wigham et al., 2018). However,
321 further studies are needed to address the specific causes from which such disparities stem from.

322 The prevalence of bruising also varied according to the design of the study and the sample size
323 assessed. These two variables helped to explain the differences reported among individual
324 studies: the higher the level of evidence and a reduced sample size, the higher the estimation for
325 carcass bruising. Such a result might be partially influenced by the objective of the study as well
326 as by the protocol used to assess carcass bruising.

327 In addition to the ethical concern caused by bruising, there is a detrimental effect both on the
328 productivity of cattle, meat quality, and food safety (Adzitey, 2011). Bruising negatively impacts
329 cattle productivity due to the economic losses caused by condemnation or trimming of the
330 affected parts (Folitse et al., 2017; Jaja et al., 2018) and downgrading of the carcasses (Mpakama
331 et al., 2014; Matias et al., 2019). Besides, bruises might pose an important risk to public health
332 due to the increment in the development of pathogenic bacteria (Cruz-Monterrosa et al., 2017;
333 Tibesso and Hiko, 2019), the reduction of meat quality (Njisane and Muchenje, 2017), and a
334 higher incidence of dark firm and dry beef caused by the stress suffered by animals
335 (Ponnampalam et al., 2017). Therefore, bruises in cattle are a triple burden that threatens animal
336 welfare, decreases productivity, and increases the risk for a public health problem. In
337 consequence, bruises affect animal welfare and all stakeholders in the meat chain, from the
338 producer to the consumer; several actions are needed to tackle this complex problem in the
339 Americas. Abattoir management should provide both rewards and fines to reduce bruises.
340 Employees and stock people should be trained to have a positive attitude towards animals
341 (Grandin, 2017) and the awareness of the stakeholders must be increased by enforcing
342 regulations and legislation aimed at improving both animal welfare and meat quality (Tibesso
343 and Hiko, 2019). However, studies comparing current national regulations, awareness, and
344 legislation regarding animal welfare are needed for the different countries in the Americas
345 (Wigham et al., 2018).

346 Worldwide, there is a trend for an increasing number of studies in animal welfare science (Freire
347 and Nicol, 2019) and our sub-group meta-analysis by decades confirmed such trend in the
348 Americas, where the number of publications almost triplicated during the last decade. The
349 prevalence of bruising also showed a trend towards higher values across decades, possibly due to

350 increased awareness of animal welfare by the scientific community and the higher number of
351 studies using more reliable bruise scoring protocols (Strappini et al., 2012). Even though a
352 heterogeneous pattern in the national incidence of bruising was evident, there were enough
353 studies to perform a quantitative approach for assessing the magnitude of this problem. Our
354 prevalence estimations might be used as a reference to measure further progress towards
355 increased welfare of cattle during the pre-slaughter stages in countries from the Americas, once
356 the ethical responsibility becomes widespread and measures are adopted among all actors of the
357 meat industry.

358 *4.2 Summary and implications of the evidence for the characteristics of the bruises*

359 Bruises mostly affected the hindquarter of the carcasses, and small-sized bruises affecting only
360 subcutaneous tissues were highly prevalent. Although for animal welfare this could mean less
361 pain than bruises of larger size and greater severity, the problem should not be minimized given
362 that most of these injuries could be avoided. Indeed, these types of bruises are usually related to
363 both abattoir facilities (blows with infrastructure, protruding edges, and falls during the stunning)
364 and improper handling (hitting, poking and pricking with driving aids) by untrained people
365 (Gallo et al., 2016). For meat quality, the hindquarter is one of the preferred and most valuable
366 anatomical regions of the beef carcass, and bruises will affect the presentation of the meat cuts
367 obtained from this site. Even though the hindquarter was the most affected site, the prevalence of
368 bruising ranged from 17.1% to 28.9% in the other anatomical sites. Additionally, on average one
369 of every four bruises was scored as affecting muscular tissue (prevalence 26.8%), whereas
370 bruises affecting bone were 6.5% prevalent. The presence of bruises of high severity is of great
371 concern for the welfare of cattle in the Americas due to the pain imposed by this kind of bruises.

372 The higher frequency of fresh bruises found in our review might suggest that they probably
373 occurred shortly before slaughter (Grandin, 2007), especially while animals are handled by
374 farmers, drivers and employees at the abattoir (Barington et al., 2016). Therefore, assessing the
375 age of the bruises is fundamental to identify steps at risk (Munro and Munro, 2013) during which
376 injury prevention should be focused to improve animal welfare conditions, especially during
377 transportation to the abattoir, lairage time, and cattle handling before stunning. Despite the
378 importance of determining the age of the bruises to find critical periods where bruises can occur
379 (Barington and Jensen, 2013), this outcome was seldom reported in the reviewed studies. This
380 probably relates to the fact that the complete preslaughter period, from gathering the animals on
381 the farm until stunning, does usually not last over 24 to 48 hours unless transport is long (Gallo
382 and Huertas, 2016) and this is a rather short period to be able to observe macroscopic differences
383 in color at the site of the lesion; moreover, the color of a bruise cannot precisely estimate its age
384 in the cattle because it also varies according to other factors, such as muscle type and location
385 (McCausland and Millar, 1982).

386 Despite the relevance of the shape of the bruises to infer their possible causes (Munro and
387 Munro, 2013), a limited number of the reviewed studies reported this outcome. Our review
388 showed that circular- or irregular-shaped bruises were the most prevalent forms. Research
389 performed in pigs has demonstrated that the skin lacerations typically resemble the object that
390 caused the bruise (Barington et al., 2016). Besides, the shape of the bruise might be useful to
391 detect human-inflicted bruises caused by inappropriate handling from the personnel (Barington
392 and Jensen, 2013) or to determine whether the contusions were caused by the interaction with
393 others animals or due to deficient facilities at the abattoir (Nielsen et al., 2014).

394 *4.3 Summary and implications of the evidence for the risk factors*

395 Transportation conditions/distance traveled, handling practices, and abattoir facilities were the
396 main risk factors that were associated with the characteristics of the bruises. However, our results
397 confirm that the characteristics of the bruises are associated with a complex combination of
398 intrinsic, extrinsic or a mixture of factors that contribute to causing them (Wythes et al., 1985).
399 For instance, long distances traveled and bad conditions of the trucks in conjunction with a
400 particularly risky type of animal being transported and low body condition are all factors that
401 contribute to deficient animal welfare during transportation (Nielsen et al., 2011; González et al.,
402 2012). Additionally, the country differences regarding the official transportation regulations and
403 other factors like the routes, the geographic regions, and the haulers' experience and attitude
404 towards animal welfare (Marahrens et al., 2011; Schuetze et al., 2017; Frisk et al., 2018;
405 Valadez-Noriega et al., 2018) may influence the welfare of cattle during transportation. All
406 these factors should be considered by the meat industry and the official instances to improve the
407 indicators of animal welfare during the transportation of cattle to the abattoir, especially in South
408 America where the geographic characteristics and long-distance transportation of cattle prone
409 them to carcass bruising (Gallo and Tadich, 2008; Werner et al., 2013).

410 Bruises are a reflex of the pre-slaughter handling practices to which cattle are submitted and thus
411 evidence the degree of negligence of both the animal handlers and the producers (Barington et
412 al., 2015). The lack of proper training of the workers causes poor animal welfare during stunning
413 (Pérez-Linares et al., 2015); rough handling (Costa et al., 2006) and equipment problems that
414 cause collisions with the structures also increase the incidence of bruises (Grandin, 2007). Thus,
415 the design of the facilities at the abattoir is potentially associated with the incidence of bruising
416 (Weeks et al., 2002). Right-angled bends in the races, dead ends, steps in the flooring, and
417 square-edged corners all result in an increased probability that cattle will suffer lesions.

418 Therefore, both animal welfare and meat quality consequences could be reduced through
419 appropriate training of animal handlers in conjunction with the improvement of the facilities in
420 countries from the Americas (Paranhos da Costa et al., 2012).

421 **5. Conclusions**

422 In conclusion, our meta-analysis showed that the prevalence of cattle carcass bruising is high in
423 countries from the Americas, though with great heterogeneity both within and between countries.
424 Such a high disparity in the incidence of bruises within a country indicates that studies should be
425 conducted locally and using similar protocols within a region, because of expected geographical,
426 socio-economic, and regulation differences that might be influencing the rate of incidence of the
427 bruises. The systematic review to summarize the strength of association between the
428 characteristics of the bruises and their risk factors indicated that few studies include the main
429 characteristics of the bruises (shape, age, and severity) that might help us to find potential causes,
430 circumstances and moments when bruises occur. The high variability in the way authors assessed
431 bruises characteristics, suggests that protocols should be unified for better comparisons in future
432 studies. Finally, the reviewed studies also revealed that in general, there are several risk factors
433 acting simultaneously during the pre-slaughter period and that it might be necessary to cover
434 them more globally throughout the meat production chain, in order to prevent and reduce
435 unnecessary pain and suffering caused by bruises in cattle. Likewise, it might also be a priority to
436 provide training and increase awareness of animal welfare to all stakeholders in the meat
437 industry.

438 **Funding**

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

441 **Conflict of interest statement**

442 The authors declare no conflict of interest.

443 **Acknowledgments**

444 Jaime Sanchez-Perez and Briseyda J. Félix-Leyva are postgraduate students from the Programa
445 de Doctorado y Maestría en Ciencias Agropecuarias at the Universidad Autónoma de Sinaloa
446 and performed this study in partial fulfillment of the requirements to obtain their Ph.D. and
447 M.Sc. degrees, respectively.

448 **References**

449 Adzitey, F., 2011. Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality.
450 International Food Research Journal 18.

451 Barington, K., Agger, J.F.G., Nielsen, S.S., Dich-Jørgensen, K., Jensen, H.E., 2016. Gross and
452 histopathological evaluation of human inflicted bruises in Danish slaughter pigs. BMC
453 veterinary research 12, 247.

454 Barington, K., Dich-Jørgensen, K., Jensen, H.E., 2015. A retrospective study of forensic cases of
455 skin ulcerations in Danish pigs from 2000 to 2014. Acta Veterinaria Scandinavica 58, 48.

456 Barington, K., Jensen, H.E., 2013. Forensic cases of bruises in pigs. Veterinary Record 173, 526-
457 526.

458 Borenstein, M., Hedges, L., Rothstein, H., 2007. Meta-analysis: Fixed effect vs. random effects.
459 Meta-Analysis.com.

- 460 Broom, D.M., 1998. Welfare, stress, and the evolution of feelings. *Advances in the Study of*
461 *Behavior*. Elsevier, 371-403.
- 462 Capper, C., 2001. The Language of Forensic Medicine: The Meaning of Some Terms Employed.
463 *Medicine, Science and the Law* 41, 256-259.
- 464 Chambers, P., Grandin, T., Heinz, G., Srisuvan, T., 2004. Effects of stress and injury on meat
465 and by-product quality. *Guidelines for Humane Handling, Transport and Slaughter of*
466 *Livestock*. FAO Corporate Document Repository, Food and Agricultural Organization,
467 Geneva, Switzerland, 6-10.
- 468 Costa, L.N., Fiego, D.P.L., Tassone, F., Russo, V., 2006. The relationship between carcass
469 bruising in bulls and behaviour observed during pre-slaughter phases. *Veterinary*
470 *Research Communications* 30, 379-381.
- 471 Cruz-Monterrosa, R.G., Reséndiz-Cruz, V., Rayas-Amor, A.A., López, M., Miranda-de la Lama,
472 G.C., 2017. Bruises in beef cattle at slaughter in Mexico: implications on quality, safety
473 and shelf life of the meat. *Tropical animal health and production* 49, 145-152.
- 474 Dawkins, M.S., 2008. The science of animal suffering. *Ethology* 114, 937-945.
- 475 De Vries, M., Bokkers, E., Dijkstra, T., Van Schaik, G., De Boer, I., 2011. Invited review:
476 Associations between variables of routine herd data and dairy cattle welfare indicators.
477 *Journal of Dairy Science* 94, 3213-3228.
- 478 Diaz, D., Rosiles, R.J., Urias-Castro, C.J., Rodriguez-Gaxiola, M.A., Gaxiola, S.M., Montero-
479 Pardo, A., 2019. Systematic review and meta-analysis of the efficacy of reproductive
480 management practices used to induce resumption of ovarian cyclical activity in anestrus
481 does. *Preventive Veterinary Medicine* 169, 104709.
- 482 FAO, 2019. Overview of global meat market developments in 2018, *Meat Market Review*.

- 483 FAOSTAT, 2019. Live Animals.
- 484 Ferguson, D.M., Warner, R.D., 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress
485 on meat quality in ruminants? *Meat Science* 80, 12-19.
- 486 Folitse, R., Owusu, A., Amemor, E., Opoku-Agyemang, T., Tasiame, W., Emikpe, B., 2017.
487 Preliminary study of bovine carcass bruises and its associated financial losses in kumasi
488 abattoir, Ghana. *Animal Research International* 14.
- 489 Fordyce, G., Wythes, J.R., Shorthose, W.R., Underwood, D.W., Shepherd, R.K., 1988. Cattle
490 Temperaments In Extensive Beef Herds In Northern Queensland: 2. Effect of
491 Temperament On Carcass and Meat Quality. *Australian Journal of Experimental*
492 *Agriculture* 28, 689-693.
- 493 Freire, R., Nicol, C., 2019. A bibliometric analysis of past and emergent trends in animal welfare
494 science. *Animal Welfare* 28, 465-485.
- 495 Frisk, M., Jonsson, A., Sellman, S., Flisberg, P., Rönnqvist, M., Wennergren, U., 2018. Route
496 optimization as an instrument to improve animal welfare and economics in pre-slaughter
497 logistics. *PloS one* 13, e0193223.
- 498 Gallo, C., Faucitano, L., Gerritzen, M., 2016. Effect of pre-slaughter handling and stunning on
499 meat quality. In: Velarde, A., Raj, R. (Eds.), *Animal Welfare at Slaughter*. 251-269.
- 500 Gallo, C., Huertas, S.M., 2016. Main animal welfare problems in ruminant livestock during
501 prelaughter operations: a South American view. *Animal : an international journal of*
502 *animal bioscience* 10, 357-364.
- 503 Gallo, C., Tadich, T.A., 2008. South America. In: Appleby, M.C., Cussen, L., Garcés, L.,
504 Lambert, L., Turner, J. (Eds.), *Long distance transport and welfare of farm animals*.
505 CABI, Wallingford, UK, 261-287.

506 González, L., Schwartzkopf-Genswein, K., Bryan, M., Silasi, R., Brown, F., 2012. Relationships
507 between transport conditions and welfare outcomes during commercial long haul
508 transport of cattle in North America. *Journal of animal science* 90, 3640-3651.

509 Grandin, T., 2007. *Livestock handling and transport*. CAB International Wallingford,
510 Oxfordshire.

511 Grandin, T., 2017. On-farm conditions that compromise animal welfare that can be monitored at
512 the slaughter plant. *Meat science* 132, 52-58.

513 Grandin, T., 2018. Welfare Problems in Cattle, Pigs, and Sheep that Persist Even Though
514 Scientific Research Clearly Shows How to Prevent Them. *Animals* 8, 124.

515 Gregory, N.G., Grandin, T., 1998. *Animal welfare and meat science*. CABI Pub.

516 Harbord, R.M., Higgins, J.P., 2008. Meta-regression in Stata. *The Stata Journal* 8, 493-519.

517 Higgins, J.P.T., Green, S., 2011. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*.
518 In: Higgins, J.P.T., Green, S. (Eds.) *The Cochrane Collaboration*, 614.

519 Hoffman, L.C., Lühl, J., 2012. Causes of cattle bruising during handling and transport in
520 Namibia. *Meat Science* 92, 115-124.

521 Hunter, J.P., Saratzis, A., Sutton, A.J., Boucher, R.H., Sayers, R.D., Bown, M.J., 2014. In meta-
522 analyses of proportion studies, funnel plots were found to be an inaccurate method of
523 assessing publication bias. *Journal of clinical epidemiology* 67, 897-903.

524 Jaja, I.F., Mushonga, B., Green, E., Muchenje, V., 2018. Factors responsible for the post-
525 slaughter loss of carcass and offal's in abattoirs in South Africa. *Acta tropica* 178, 303-
526 310.

- 527 Lean, I.J., Rabiee, A.R., Duffield, T.F., Dohoo, I.R., 2009. Invited review: Use of meta-analysis
528 in animal health and reproduction: Methods and applications. *Journal of Dairy Science*
529 92, 3545-3565.
- 530 Liberati, A., Altman, D.G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P.C., Ioannidis, J.P.A., Clarke,
531 M., Devereaux, P.J., Kleijnen, J., Moher, D., 2009. The PRISMA Statement for
532 Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care
533 Interventions: Explanation and Elaboration. *PLOS Medicine* 6, e1000100.
- 534 Losada-Espinosa, N., Villarroel, M., Maria, G.A., Miranda-de la Lama, G.C., 2018. Pre-
535 slaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary
536 monitoring systems: A systematic review. *Meat Science* 138, 34-48.
- 537 Marahrens, M., Kleinschmidt, N., Di Nardo, A., Velarde, A., Fuentes, C., Truar, A., Otero, J.L.,
538 Di Fede, E., Villa, P.D., 2011. Risk assessment in animal welfare – Especially referring
539 to animal transport. *Preventive Veterinary Medicine* 102, 157-163.
- 540 Matias, B.F., Okano, W., Pértile, S.F.N., Barreto, J.V.P., Andreola, D., da Cunha Filho, L.F.C.,
541 2019. Economic losses due to hematoma in bovine carcasses from the north central
542 mesoregion of Paraná. *Acta Veterinaria Brasilica* 13.
- 543 McCausland, I.P., Millar, H.W., 1982. Time of occurrence of bruises in slaughtered cattle.
544 *Australian veterinary journal* 58, 253-255.
- 545 Miranda-de la Lama, G.C., Villarroel, M., María, G.A., 2014. Livestock transport from the
546 perspective of the pre-slaughter logistic chain: a review. *Meat Science* 98, 9-20.
- 547 Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P.,
548 Stewart, L.A., Group, P.-P., 2015. Preferred reporting items for systematic review and
549 meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews* 4, 1.

- 550 Mpakama, T., Chulayo, A.Y., Muchenje, V., 2014. Bruising in slaughter cattle and its
551 relationship with creatine kinase levels and beef quality as affected by animal related
552 factors. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27, 717-725.
- 553 Munro, R., Munro, H., 2013. Some challenges in forensic veterinary pathology: a review.
554 *Journal of comparative pathology* 149, 57-73.
- 555 Nielsen, B.L., Dybkjær, L., Herskin, M.S., 2011. Road transport of farm animals: effects of
556 journey duration on animal welfare. *Animal : an international journal of animal*
557 *bioscience* 5, 415-427.
- 558 Nielsen, S.S., Michelsen, A.M., Jensen, H.E., Barington, K., Opstrup, K.V., Agger, J.F., 2014.
559 The apparent prevalence of skin lesions suspected to be human-inflicted in Danish
560 finishing pigs at slaughter. *Preventive veterinary medicine* 117, 200-206.
- 561 Njisane, Y.Z., Muchenje, V., 2017. Farm to abattoir conditions, animal factors and their
562 subsequent effects on cattle behavioural responses and beef quality—A review. *Asian-*
563 *Australasian Journal of Animal Sciences* 30, 755.
- 564 Nyaga, V.N., Arbyn, M., Aerts, M., 2014. Metaprop: a Stata command to perform meta-analysis
565 of binomial data. *Archives of Public Health* 72, 39.
- 566 Paranhos da Costa, M., Huertas, S.M., Gallo, C., Dalla Costa, O.A., 2012. Strategies to promote
567 farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits.
568 *Meat Science* 92, 221-226.
- 569 Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Estrada-Angulo, A., Sánchez-López, E., Barreras-
570 Serrano, A., Bolado-Sarabia, J., Ríos-Rincón, F., 2015. Indicadores de bienestar animal
571 durante el aturdimiento de bovinos sacrificados en establecimientos Tipo Inspección
572 Federal del noroeste de México. *Archivos de medicina veterinaria* 47, 375-380.

573 Ponnampalam, E.N., Hopkins, D.L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., Bekhit, A.E.-d., 2017. Causes
574 and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions:
575 A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16, 400-430.

576 Romo-Barron, C.B., Diaz, D., Portillo-Loera, J.J., Romo-Rubio, J.A., Jimenez-Trejo, F.,
577 Montero-Pardo, A., 2019. Impact of heat stress on the reproductive performance and
578 physiology of ewes: a systematic review and meta-analyses. *International Journal of*
579 *Biometeorology* 63, 949-962.

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

583 Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H.M., Kemp, B., 2012. Intra- and inter-observer reliability
584 of a protocol for post mortem evaluation of bruises in Chilean beef carcasses. *Livestock*
585 *Science* 145, 271-274.

586 Strappini, A.C., Metz, J.H., Gallo, C., Kemp, B., 2009. Origin and assessment of bruises in beef
587 cattle at slaughter. *Animal : an international journal of animal bioscience* 3, 728-736.

588 Swanson, J., Morrow-Tesch, J., 2001. Cattle transport: Historical, research, and future
589 perspectives. *Journal of Animal Science* 79, E102-E109.

590 Tibesso, G., Hiko, A., 2019. Effects of Pre-Slaughter Animal Handling on Physico-Chemical and
591 Microbiological Quality of Beef in Selected Municipal Abattoirs, Oromia Regional State,
592 Ethiopia. *EC Veterinary Science* 4, 202-212.

593 Valadez-Noriega, M., Estévez-Moreno, L., Rayas-Amor, A., Rubio-Lozano, M., Galindo, F.,
594 Miranda-de la Lama, G., 2018. Livestock hauliers’ attitudes, knowledge and current
595 practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A
596 Mexican survey. *Preventive veterinary medicine* 160, 76-84.

- 597 Veissier, I., Butterworth, A., Bock, B., Roe, E., 2008. European approaches to ensure good
598 animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 113, 279-297.
- 599 Vimiso, P., Muchenje, V., 2013. A survey on the effect of transport method on bruises, pH and
600 colour of meat from cattle slaughtered at a South African commercial abattoir. *South*
601 *African Journal of Animal Science* 43, 105-111.
- 602 Weeks, C.A., McNally, P.W., Warriss, P.D., 2002. Influence of the design of facilities at auction
603 markets and animal handling procedures on bruising in cattle. *Veterinary Record* 150,
604 743-748.
- 605 Werner, M., Hepp, C., Soto, C., Gallardo, P., Bustamante, H., Gallo, C., 2013. Effects of a long
606 distance transport and subsequent recovery in recently weaned crossbred beef calves in
607 Southern Chile. *Livestock Science* 152, 42-46.
- 608 Wigham, E.E., Butterworth, A., Wotton, S., 2018. Assessing cattle welfare at slaughter – Why is
609 it important and what challenges are faced? *Meat Science* 145, 171-177.
- 610 Wythes, J.R., Kaus, R.K., Newman, G.A., 1985. Bruising in beef cattle slaughtered at an abattoir
611 in southern queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 25, 727-733.

613 **Table 1.** Definition of eligibility criteria for the studies.

Inclusion criteria	Definition	Scales used in the studies
Population	<p>Carcasses from cattle of any age, sex, and breed that were assessed for the presence of bruises.</p> <p><i>Bruise:</i> a traumatic lesion of variable size, shape, and severity caused by any mechanical force during the preslaughter stage and characterized by the presence of ruptured blood vessels, swelling and accumulation of blood and serum in any anatomical site within the carcass</p>	<p>Chilean bruising grading classification; Australian Carcass Bruise Scoring System; Harvest Audit Program Carcass Bruise Scoring System</p>
^A Outcomes: 1) Prevalence of bruises	<p>The number of bruised carcasses divided by the total number of carcasses included in the study</p>	
2) Characteristics of the bruises	<p>Age: the age of the bruise defined according to a subjective colorimetric scale</p> <p>Anatomical site: the location of the bruises within the carcass divided into different regions depending on the authors</p> <p>^B Removed meat: the weight of the trimmed parts due to bruising</p> <p>Severity: the degree of damage on the carcasses caused by the lesions, scored according to the damaged tissue</p> <p>Shape: the pattern or form of a bruise</p> <p>Size: the extent of the carcass that a bruise covers, measured in cm</p>	<p>Fresh bruise, red or dark red; Old bruise, bluish or dark or yellow; and Very old bruise, yellowish/orange or green</p> <p>Forequarter or first third or front; ribs and loin or middle third; and hindquarter or last third or hips or round</p> <p>Amount of bruised meat removed (kg per carcass or total amount per study)</p> <p>Grade 1 or “S”, only subcutaneous tissue; Grade 2 or “M”, subcutaneous tissue and muscle; and Grade 3 or “O”, subcutaneous tissue, muscle, and bone</p> <p>Linear, tramlines, circular, irregular, mottled, or comma.</p> <p>Small or Level 1, (<2-8 cm); Medium or Level 2 (5-16 cm); and Large or Level 3 (>10-16 cm)</p>

614 ^A Studies should include at least one outcome.615 ^B Not a bruise characteristic but was considered a consequence of the severity and extension of the bruises.

616

617 **Table 2.** Summary of the estimated prevalence of carcass bruising from studies aggregated
 618 at the national level.

Country (studies)	Bruised carcasses	Examined carcasses	Pooled prevalence (95% CI) using meta-analysis	Mean number of bruises per carcass (\pm SD, studies)
Argentina (n=2)	3,848	9,643	40.5 (39.5 to 41.5)	4.7 (\pm 3.7, n=2)
Brazil (n=11)	32,525	274,152	69.9 (52.4 to 84.9)	2.8 (\pm 0.7, n=8)
Canada (n=3)	31,803	46,962	72.9 (53.3 to 88.7)	NR
Chile (n=7)	25,225	247,412	36.1 (30.4 to 42.1)	2.1 (\pm 1.0, n=4)
Colombia (n=2)	2,371	3,467	70.1 (68.5 to 71.6)	3.9 (\pm 1.8, n=2)
Mexico (n=2)	1,478	1,678	88.9 (87.3 to 90.3)	NR
Paraguay (n=1)	127	652	19.5 (16.5 to 22.7)	NR
Uruguay (n=3)	16,923	24,330	66.9 (38.1 to 90.1)	2.7 (\pm 0.9, n=3)
USA (n=10)	69,364	158,535	50.8 (41.4 to 60.1)	NR
Total (n=41)	183,664	766,831	60.8 (52.2 to 69.0)	2.9 (\pm 1.4, n=19)

619 NR = Nonreported

620

621

622 **Figure legends**

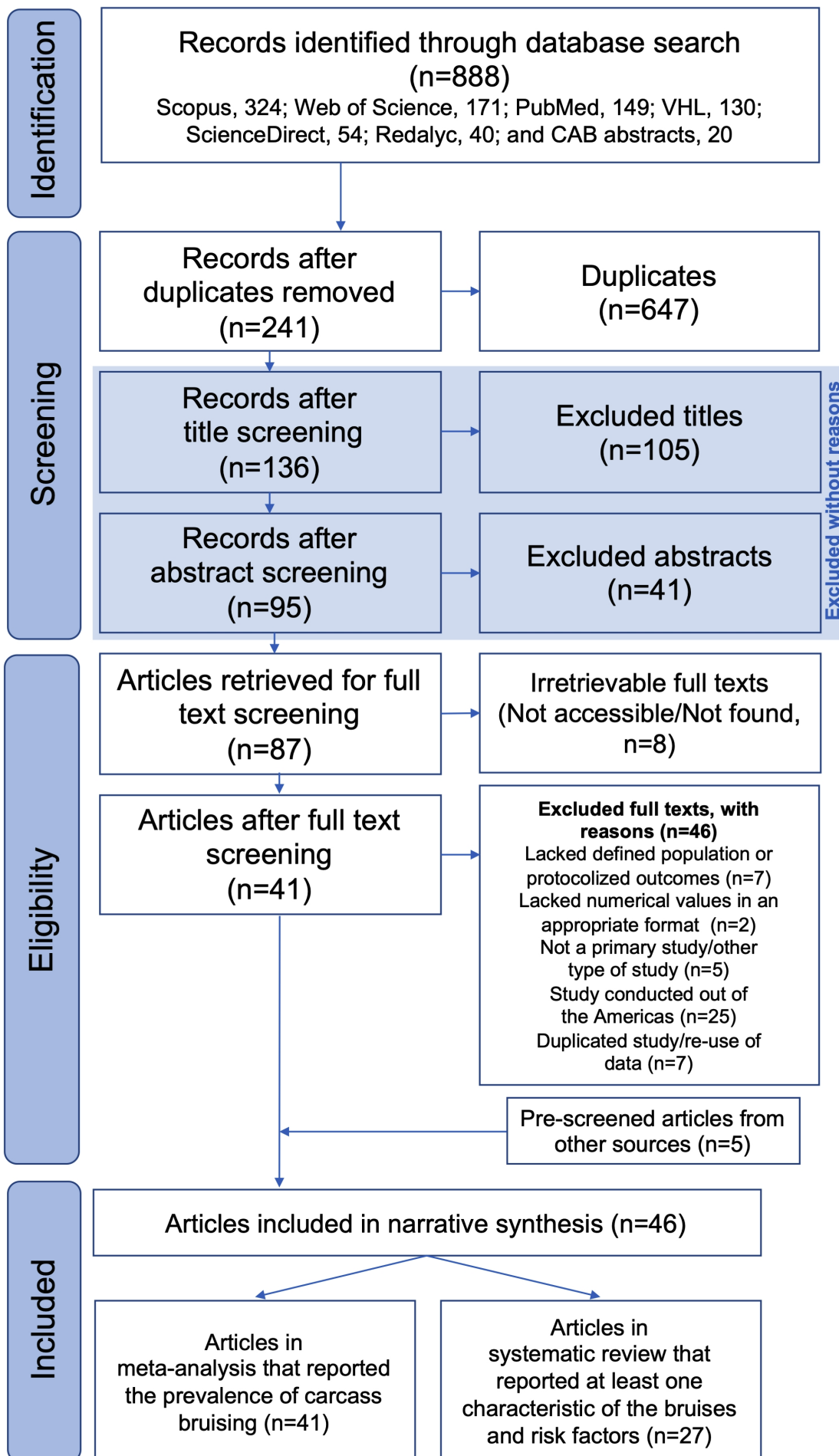
623 **Fig 1.** Flow chart for the selection of the studies included in the systematic review.

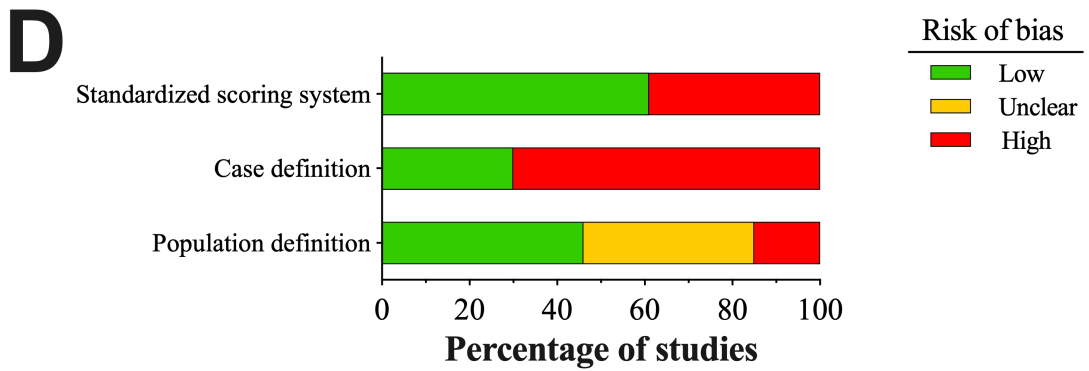
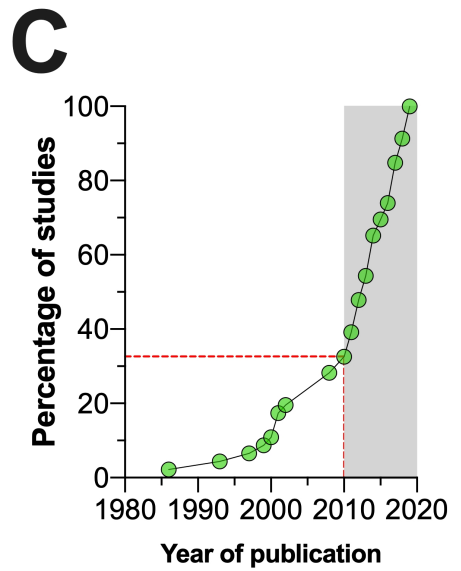
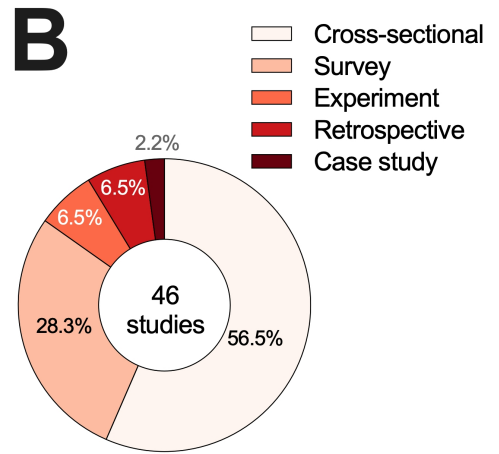
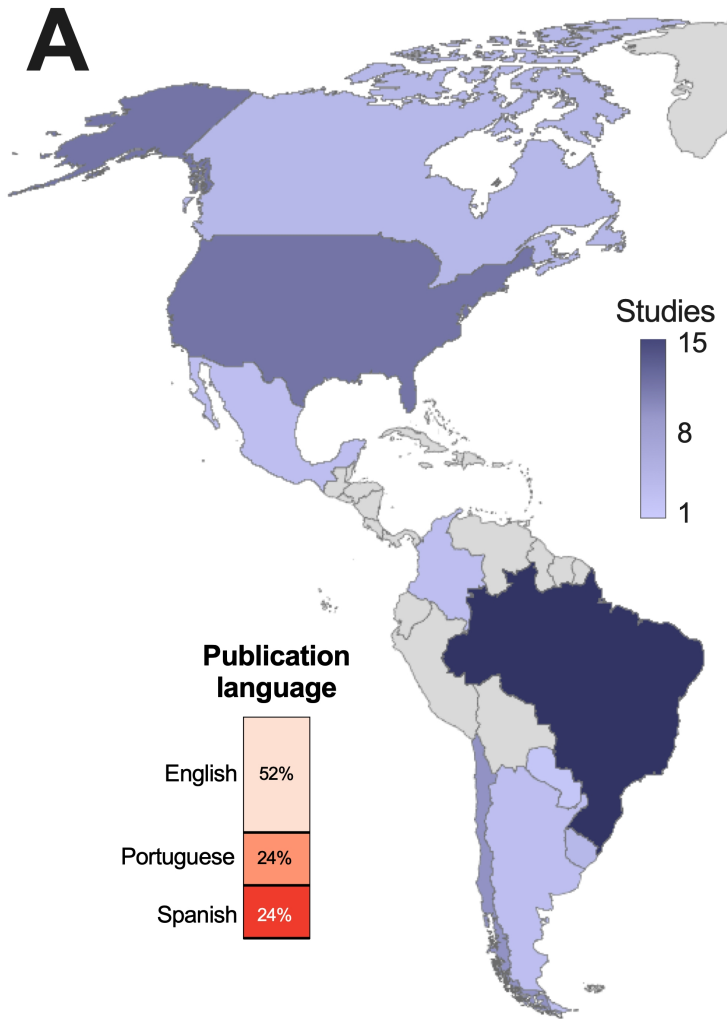
624 **Fig 2.** A) Distribution of studies per country, B) the percentage of publications according to
625 the design of the study, C) accumulation of studies per year, and D) Summary of the risk of
626 bias assessment for the 46 studies reviewed. The insert in A shows the percentage of studies
627 according to the language of publication.

628 **Fig 3.** Results of meta-regression analyses of the prevalence of carcass bruising in cattle
629 from the Americas according to A) the percentile of the sample size and B) the design of
630 the study. Each covariate was coded as a dummy variable and included in a multivariable
631 random-effects meta-regression model. Please note the contrasting effect of the covariates
632 on the estimated values for prevalence. The equation for the multivariate model $ES = \text{effect}$
633 size (prevalence rates).

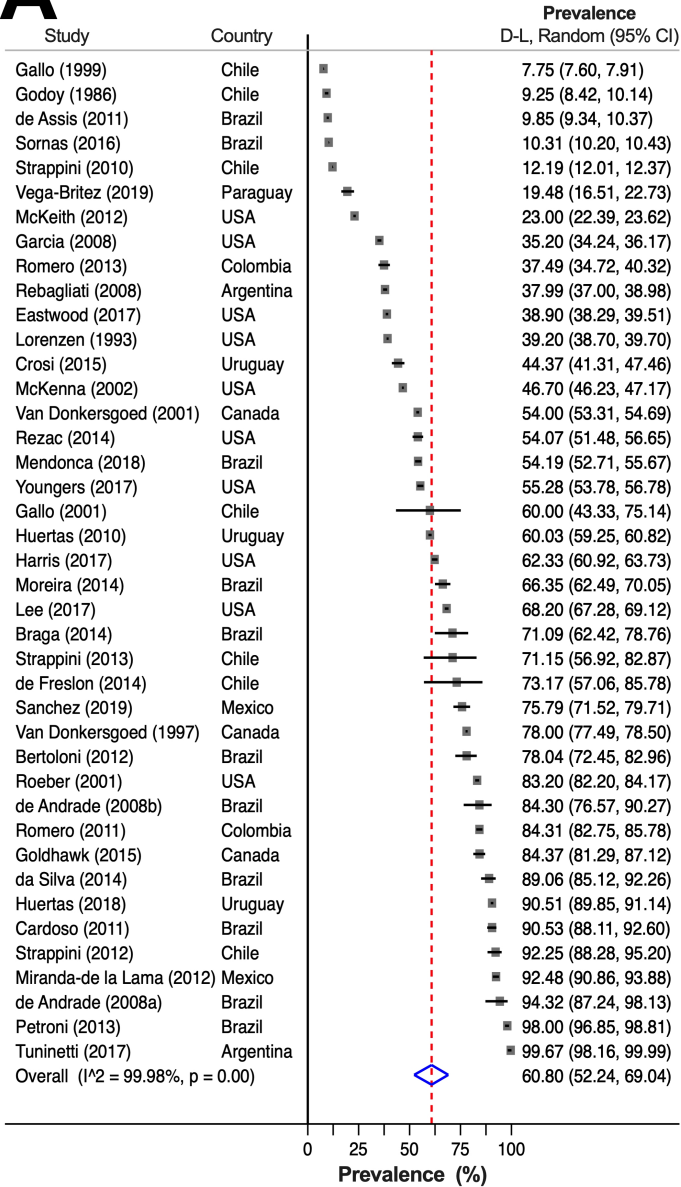
634 **Fig 4.** (A-E) Floating bars showing the prevalence per category of each characteristic of the
635 bruises and Sankey diagrams showing the distribution of the 61 potential associations
636 between the characteristics of the bruises and the risk factors examined in the studies.

637

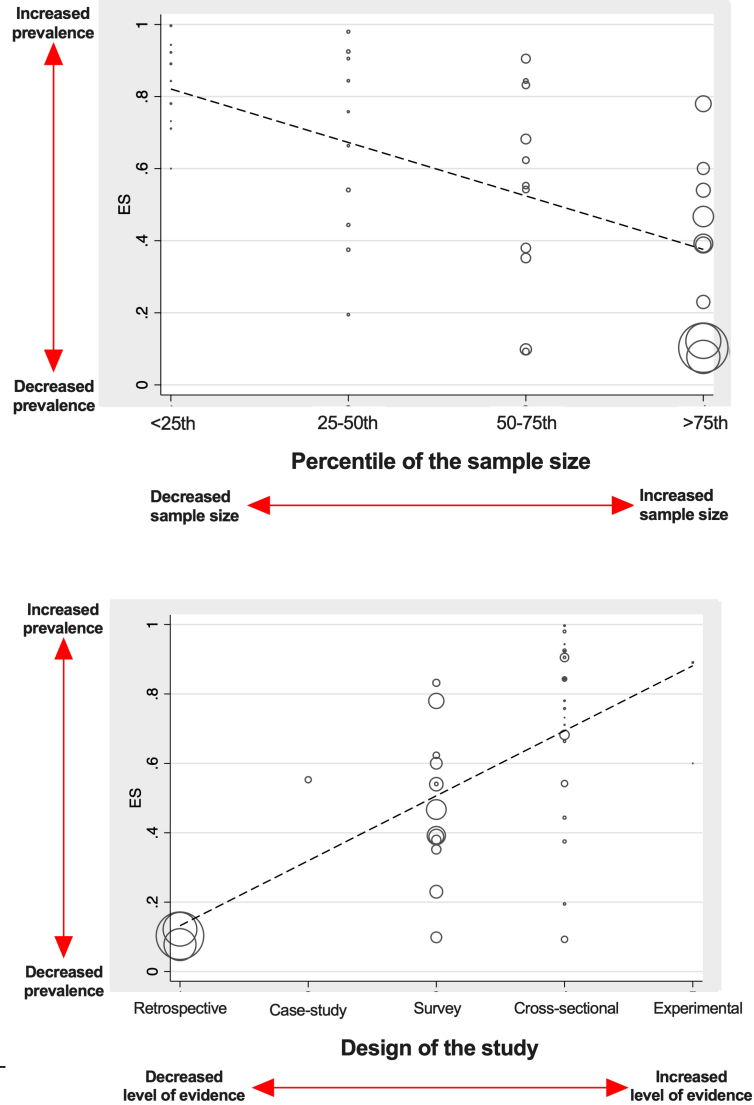


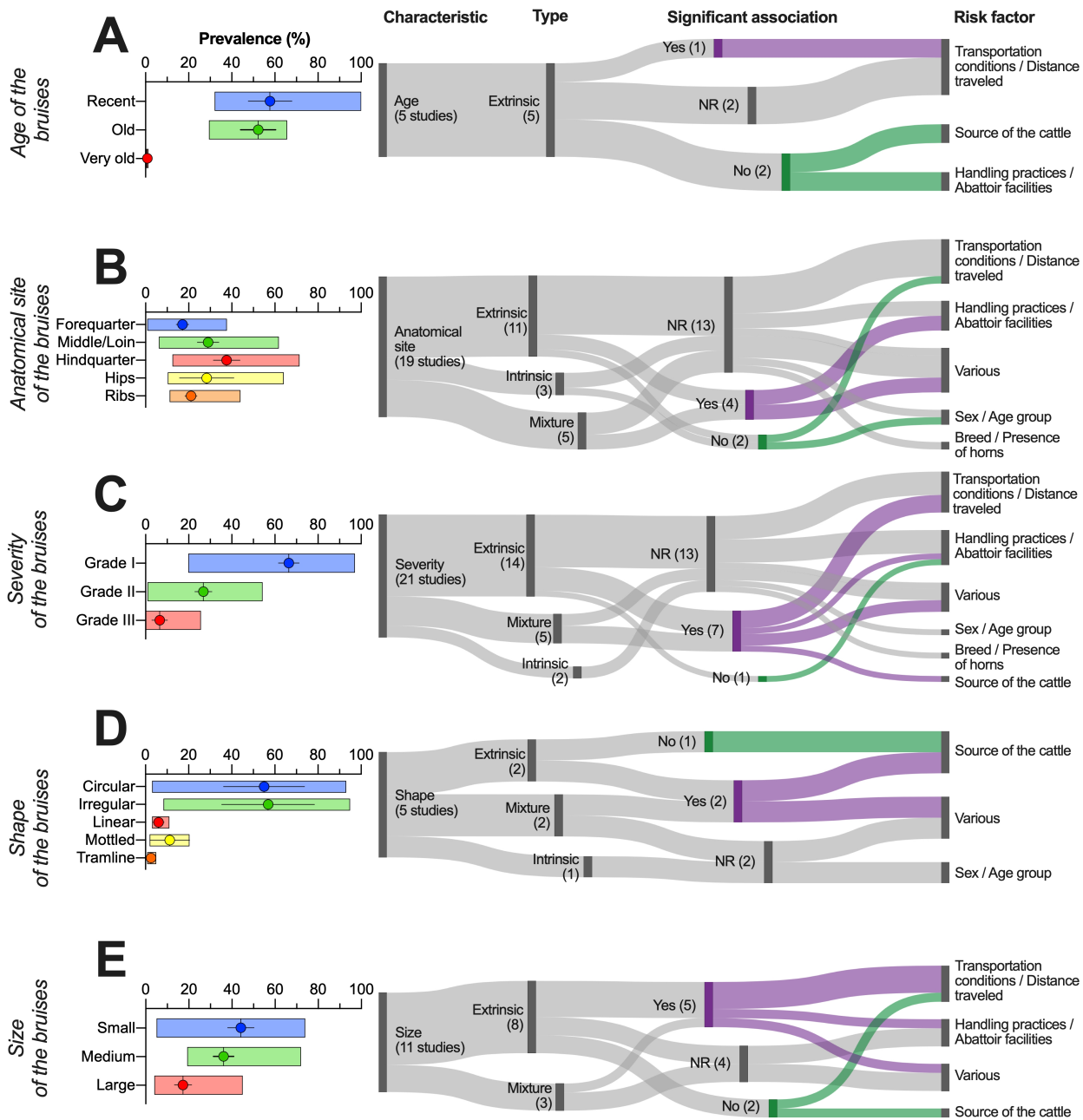


A



B





Declaration of interests

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.

The authors declare the following financial interests/personal relationships which may be considered as potential competing interests:

Web-appendix

Web-appendix 1. Search methods: detailed search strategy _____ **1**
Web-appendix 2. Excluded trials and the primary reasons for exclusion _____ **2**
Web-appendix 3. List of the studies included in the meta-analysis _____ **4**
Web-appendix 4. List of the studies included in he systematic review _____ **9**
Web-appendix 5. Assessment of risk of bias for the individual studies _____ **14**
Web-appendix 6. Forest plot of the prevalence of carcass bruising segmented by decades _____ **15**
Web-appendix 7. Results for removed meat due to bruising _____ **16**

Web-appendix 1. Search methods: detailed search strategy

Database	Outcome	Search command	Records
PubMed	Prevalence	((((bruise*[Title/Abstract] OR bruising[Title/Abstract]))) AND ((prevalence[Title/Abstract] OR incidence[Title/Abstract] OR occurrence[Title/Abstract] OR frequency[Title/Abstract]))) AND ((bovine[Title/Abstract] OR cattle[Title/Abstract] OR cow[Title/Abstract] OR bull[Title/Abstract]))	41
	Characteristics of bruises	(((bovine[Title/Abstract]) OR cattle[Title/Abstract])) AND (((bruising[Title/Abstract]) OR bruises[Title/Abstract]) OR bruised[Title/Abstract])) AND (((((((characteristics[Title/Abstract]) OR traits[Title/Abstract]) OR severity[Title/Abstract]) OR color[Title/Abstract]) OR removed meat[Title/Abstract]) OR score[Title/Abstract]) OR size[Title/Abstract])	34
	Risk factors	(((bovine[Title/Abstract]) OR cattle[Title/Abstract])) AND (((bruising[Title/Abstract]) OR bruises[Title/Abstract]) OR bruised[Title/Abstract])) AND (((((((risk factor[Title/Abstract]) OR horns[Title/Abstract]) OR sex[Title/Abstract]) OR fat cover[Title/Abstract]) OR handling[Title/Abstract]) OR transport[Title/Abstract]) OR time[Title/Abstract]) OR stocking density[Title/Abstract])	46
Scopus	Prevalence	(TITLE-ABS-KEY (bruise* AND bruising) AND TITLE-ABS-KEY (bovine OR cattle OR cow OR bull) AND TITLE-ABS-KEY (prevalence OR incidence OR occurrence OR frequency)) AND DOCTYPE (ar)	33
	Characteristics of bruises	(TITLE-ABS-KEY (bovine OR cattle) AND TITLE-ABS-KEY (bruise* OR bruising) AND TITLE-ABS-KEY (characteristics OR traits OR severity OR color OR removed AND meat OR score OR size))	35
	Risk factors	(TITLE-ABS-KEY (bovine OR cattle) AND TITLE-ABS-KEY (bruise* OR bruising) AND TITLE-ABS-KEY ("risk	116

		factor" OR horns OR handling OR transport OR time OR "stocking density"))	
ScienceDirect	Prevalence	(bovine OR cattle) AND (bruises OR bruised OR bruising) AND (prevalence OR incidence OR occurrence OR frequency)	14
	Characteristics of bruises	(bovine OR cattle) AND (bruises OR bruising) AND (characteristics OR color OR severity)	8
	Risk factors	(bovine OR cattle) AND (bruises OR bruising) AND ("risk factor" OR handling OR horns OR transport OR "stocking density")	21
Virtual Health Library	Prevalence	(tw:(bovine OR cattle OR cow OR bull)) AND (tw:(bruise* AND bruising)) AND (tw:(prevalence OR incidence OR occurrence OR frequency))	19
	Characteristics of bruises	tw:(bovine OR cattle)) AND (tw:(bruise* OR bruising)) AND (tw:(characteristics OR severity OR size OR removed meat OR traits OR color OR score))	65
	Risk factors	(tw:(bovine OR cattle)) AND (tw:(bruise* OR bruising)) AND (tw:(risk factor OR horns OR handling OR "stocking density" OR transport))	18
Redalyc	Prevalence	bovine OR cattle AND bruises OR bruised OR bruising AND prevalence OR incidence OR occurrence OR frequency	8
	Characteristics of bruises	(bovine OR cattle) AND (bruises OR bruising) AND (characteristics OR color OR severity)	13
	Risk factors	(bovine OR cattle) AND (bruises OR bruising) AND (risk factor OR handling OR horns OR transport OR stocking density)	13
Web of Science	Prevalence	SUBJECT: (bruise* OR bruising) AND SUBJECT: (cattle OR bovine OR cow OR bull) AND SUBJECT: (prevalence OR incidence OR occurrence OR frequency)	63
	Characteristics of bruises	SUBJECT: (bovine OR cattle) AND SUBJECT: (bruises OR bruising) AND SUBJECT: (characteristics OR traits OR size OR severity OR score OR color OR "removed meat")	72
	Risk factors	SUBJECT: (bovine OR cattle) AND SUBJECT: (bruises OR bruising) AND SUBJECT: (risk factor OR horns OR sex OR fat cover OR handling OR lairage OR transport OR time OR stocking density)	99
CAB Abstract	Prevalence	(bruise* OR Bruising) AND (cattle OR bovine) AND (prevalence OR incidence OR occurrence OR frequency)	17
	Characteristics of bruises	(bruise* OR bruising) AND (bovine OR cattle) AND (characteristics OR traits OR size OR severity OR score OR color OR "removed meat")	12
	Risk factors	(bruise* OR bruising) AND (bovine OR cattle) AND ("risk factor" OR handling OR horns OR transport OR "stocking density")	8

Web-appendix 2. Excluded trials and the primary reasons for exclusion

ID	Study	The primary reason for exclusion
1	Alam, M., et al., Veterinary Record, 2010. 167(11): p. 415-419.	Study conducted out of the Americas
2	Alende, M., Revista Argentina de Producción Animal, 2010. 30(1): p. 117-129.	Not a primary study
3	Andrade, E.N., et al., Archivos de Zootecnia, 2009. 58(222): p. 301-304.	Re-use data from another study
4	Blackshaw, J., et al., Aus J of Experimental Agriculture, 1987. 27(6): p. 753-757.	Study conducted out of the Americas
5	Boleman, S.L., et al., J Anim Sci, 1998. 76(1): p. 96-103.	Does not include risk factors
6	Carvalho, M.T.d.M., et al., Veterinária e Zootecnia, 2017. 24(Suppl. 1): p. 95-104.	Not a primary study
7	Costa, L.N., et al., Veterinary Research Communications, 2006. 30: p. 379-381.	Study conducted out of the Americas
8	Cruz-Monterrosa, R.G., et al., Trop Anim Health Prod, 2017. 49(1): p. 145-152.	Does not include the protocolized outcomes
9	da Silva, J.L., et al., Archives of Veterinary Science, 2016. 21(3): p. 68-76.	Re-use data from another study
10	Eldridge, G., et al., Aus J of Experimental Agriculture, 1988. 28(6): p. 695-698.	Study conducted out of the Americas
11	Fordyce, G., et al., Aus J of Experimental Agriculture, 1988. 28(6): p. 689-693.	Study conducted out of the Americas
12	Francisco, C.L., et al., J Anim Sci, 2015. 93(11): p. 5419-29.	Lacks numerical values in an appropriate format
13	Frimpong, S., et al., Veterinary Sciences, 2014. 1(3): p. 174-191.	Study conducted out of the Americas
14	Gallo, C., et al., Archivos de Medicina Veterinaria, 2005. 37(2): p. 155-159.	Does not include risk factors
15	Grigor, P.N., et al., Livestock Production Science, 2004. 91(3): p. 219-228.	Does not include the protocolized outcomes
16	Hartman, E., et al., Safety Science, 2004. 42(9): p. 807-823.	Does not include the defined population
17	Hoffman, L.C. et al., Meat Sci, 2012. 92(2): p. 115-24.	Study conducted out of the Americas
18	Huertas, S.M., et al., Vet Med Sci, 2015. 1(1): p. 9-15.	Re-use data from another study
19	Jaja, I.F., et al., Acta Tropica, 2018. 178: p. 303-310.	Study conducted out of the Americas
20	Jarvis, A., et al., Livestock Production Science, 1995. 43(3): p. 215-224.	Study conducted out of the Americas
21	Lensink, B.J., et al., Journal of Animal Science, 2001. 79(3): p. 642-652.	Study conducted out of the Americas
22	Liotta, L., et al., Italian Journal of Animal Science, 2007. 6(4): p. 375-384.	Study conducted out of the Americas
23	Marshall, B.L., et al., New Zealand Veterinary Journal, 1977. 25(4): p. 83-86.	Does not meet the defined study characteristics
24	McCausland, I., et al., Australian veterinary journal, 1982. 58(6): p. 253-255.	Study conducted out of the Americas
25	McNally, P.W. and P.D. Warriss, Veterinary Record, 1997. 140(9): p. 231-232.	Study conducted out of the Americas
26	Meischke, H.R., et al., Australian veterinary journal, 1974. 50(10): p. 432-4.	Does not meet the defined study characteristics
27	Minka, N.S. et al., Livestock Science, 2007. 107(1): p. 91-95.	Study conducted out of the Americas
28	Moreira, P.S.A., et al., Rev Bras de Saude e Producao Animal, 2014. 15(3): p. 689-695.	Lacks numerical values in an appropriate format
29	Mpakama, T., et al., Asian-Australasian j of animal sciences, 2014. 27(5): p. 717-25.	Study conducted out of the Americas

30	Ramsay, W.R., et al., Australian veterinary journal, 1976. 52(6): p. 285-6.	Does not meet the defined study characteristics
31	Romero, M.H., et al., Rev. colomb. cienc. pecu, 2012. 25(2): p. 267-275.	Re-use data from another study
32	Strappini, A.C., et al., Livestock Science, 2012. 145(1-3): p. 271-274.	Does not include the protocolized outcomes
33	Strappini, A.C., et al., Animal, 2009. 3(5): p. 728-36.	Duplicated study
34	Tarrant, P., et al., Meat Science, 1988. 24(3): p. 209-222.	Study conducted out of the Americas
35	Tarrant, P., et al., Livestock Production Science, 1992. 30(3): p. 223-238.	Study conducted out of the Americas
36	Tarumán, J.A., et al., Open Access Libr. J, 2018. 5.	Does not include the defined population
37	Vimiso, P., et al., South African Journal of Animal Science, 2013. 43(1): p. 105-111.	Study conducted out of the Americas
38	von Holleben, K., et al., Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 2003. 110(3): p. 93-99.	Study conducted out of the Americas
39	C.A., et al., The Veterinary record, 2002. 150(24): p. 743-8.	Study conducted out of the Americas
40	Wythes, J.R., et al., Australian Journal of Agricultural Research, 1988. 39(1): p. 97-107.	Study conducted out of the Americas
41	Wythes, J., et al., Aus J of Experimental Agriculture, 1985. 25(4): p. 727-733.	Study conducted out of the Americas
42	Wythes, J. Et al., Aus J of Experimental Agriculture, 1991. 31(2): p. 145-152.	Study conducted out of the Americas
43	Wythes, J.R., et al., Aus J of Agricultural Research, 1988. 39(1): p. 97-107.	Duplicated study
44	Wythes, J.R., et al., Aus J of Agricultural Research, 1989. 40(5): p. 1099-1109.	Study conducted out of the Americas
45	Wythes, J.R., et al., Aus J of Agricultural Research, 1988. 39(1): p. 87-95.	Study conducted out of the Americas
46	Youngers, M., et al., Kansas Agricultural Exp Station Research, 2017. 3(1): p. 12.	Re-use data from another study

Web-appendix 3. List of the studies included in the meta-analysis

1. Bertoloni, W., da Silva, J.L., de Abreu, J.S., Andreolla, D.L., 2012. Welfare and bruise index of cattle transported in different distance and trucks design in the Mato Grosso state - Brazil. Revista Brasileira de Saude e Producao Animal 13, 850-859.
2. Braga, J.S., Machado, M.F., Borges, T.D., de Souza, M., Souza, A.P.O., Molento, C.F.M., 2014. Cattle welfare assessment in two state regulated abattoirs in southern Brazil. Archives of Veterinary Science 19, 24-35.
3. Cardoso, M.R.P., Moura, M.S., Moreira, M.D., 2011. Occurrence of bruises in slaughtered cattle carcasses in a slaughter plant in Uberlândia-MG. PUBVET 5, unpaginated.
4. Crosi, G., Prado, M., Huertas, S., Imelio, J., Piaggio, J., Gil, A., 2015. Estudio observacional sobre presencia y caracterización de hematomas en carcasas vacunas de Uruguay. Salud y Tecnología Veterinaria 3, 41-50.
5. da Silva, B., de Mattoso, M.R.B., de Oliveiraa, H.C., Morais, H.R., de Fátima, K., Biase, N.G., 2014. Quantity, location, and description of bruises in beef cattle slaughtered under sanitary inspection. Acta Scientiae Veterinariae 42.
6. de Andrade, E.N., de Oliveira, R.R., Silva, R.A.M.S., Gonçalves, H.C., Pinheiro, R.S.B., 2008a. Prevalence of carcass bruising in cattle meat slaughtered in Pantanal, Mato Grosso do Sul state, after fluvial transport. Ciencia e Tecnologia de Alimentos 28, 822-829.
7. de Andrade, E.N., Silva, R.A.M.S., Roça, R.D.O., Da Silva, L.A.C., Gonçalves, H.C., Pinheiro, R.S.B., 2008b. Occurrence of carcass bruising of beef cattle in the Pantanal related to time spent transport. Ciencia Rural 38, 1991-1996.
8. de Assis, D.R., Rezende-Lago, N.C., de Marchi, P.G., DAmato, C.C., 2011. Perdas diretas ocasionadas por abscessos e hematomas em carcaças de bovinos Direct losses due abscesses and bruised in beef carcasses. Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias 106, 47-51.

9. de Freslon, I., Strappini, A.C., Soto-Gamboa, M., Gallo, C., 2014. Caracterización de la reactividad conductual frente al manejo y su relación con el cortisol sanguíneo, contusiones y pH de la carne en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria* 46, 229-237.
10. Eastwood, L.C., Boykin, C.A., Harris, M.K., Arnold, A.N., Hale, D.S., Kerth, C.R., Griffin, D.B., Savell, J.W., Belk, K.E., Woerner, D.R., Hasty, J.D., Delmore, R.J., Jr., Martin, J.N., Lawrence, T.E., McEvers, T.J., VanOverbeke, D.L., Mafi, G.G., Pfeiffer, M.M., Schmidt, T.B., Maddock, R.J., Johnson, D.D., Carr, C.C., Scheffler, J.M., Pringle, T.D., Stelzleni, A.M., 2017. National Beef Quality Audit-2016: Transportation, mobility, and harvest-floor assessments of targeted characteristics that affect quality and value of cattle, carcasses, and by-products. *Translational Animal Science* 1, 229-238.
11. Gallo, C., Caro, M., Villarroel, C., Araya, P., 1999. Characteristics of cattle slaughtered within the Xth Region (Chile) according to the terms stated by the official chilean standards for classification and carcass grading. *Archivos de Medicina Veterinaria* 31, 81-88.
12. Gallo, C., Espinoza, M.A., Gasic, J., 2001. Effects of 36 hours road transport with or without a resting period on live weight and some meat quality aspects in cattle. *Archivos de Medicina Veterinaria* 33, 43-53.
13. Garcia, L.G., Nicholson, K.L., Hoffman, T.W., Lawrence, T.E., Hale, D.S., Griffin, D.B., Savell, J.W., VanOverbeke, D.L., Morgan, J.B., Belk, K.E., Field, T.G., Scanga, J.A., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2008. National Beef Quality Audit 2005: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science* 86, 3533-3543.
14. Godoy, M., Fernández, H., Morales, M.A., Ibarra, L., Sepúlveda, C., 1986. Bruises in bovine carcasses. Incidence and potential risk. *Avances en Ciencias Veterinarias* 1, 22-25.
15. Goldhawk, C., Janzen, E., Gonzalez, L.A., Crowe, T., Kastelic, J., Kehler, C., Siemens, M., Ominski, K., Pajor, E., Schwartzkopf-Genswein, K.S., 2015. Trailer temperature and humidity during winter transport of cattle in Canada and evaluation of indicators used to assess the welfare of cull beef cows before and after transport. *Journal of Animal Science* 93, 3639-3653.
16. Harris, M.K., Eastwood, L.C., Boykin, C.A., Arnold, A.N., Gehring, K.B., Hale, D.S., Kerth, C.R., Griffin, D.B., Savell, J.W., Belk, K.E., Woerner, D.R., Hasty, J.D., Delmore, R.J., Jr., Martin, J.N., Lawrence, T.E., McEvers, T.J., VanOverbeke, D.L., Mafi, G.G., Pfeiffer, M.M., Schmidt, T.B., Maddock, R.J., Johnson, D.D., Carr, C.C., Scheffler, J.M., Pringle, T.D., Stelzleni, A.M., 2017. National Beef Quality Audit-2016: Transportation, mobility, live cattle, and carcass assessments of targeted producer-related characteristics that affect value of market cows and bulls, their carcasses, and associated by-products. *Translational Animal Science* 1, 570-584.
17. Huertas, S.M., Gil, A.D., Piaggio, J.M., van Eerdenburg, F.J.C.M., 2010. Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcass bruising in an extensive production system. *Animal Welfare* 19, 281-285.
18. Huertas, S.M., Kempener, R., van Eerdenburg, F.J.C.M., 2018. Relationship between Methods of Loading and Unloading, Carcass Bruising, and Animal Welfare in the Transportation of Extensively Reared Beef Cattle. *Animals : an open access journal from MDPI* 8.
19. Lee, T.L., Reinhardt, C.D., Bartle, S.J., Vahl, C.I., Siemens, M., Thomson, D.U., 2017. Assessment of risk factors contributing to carcass bruising in fed cattle at commercial slaughter facilities. *Translational Animal Science* 1, 489-497.
20. Lorenzen, C.L., Hale, D.S., Griffin, D.B., Savell, J.W., Belk, K.E., Frederick, T.L., Miller, M.F., Montgomery, T.H., Smith, G.C., 1993. National Beef Quality Audit: survey of producer-related defects and carcass quality and quantity attributes. *Journal of Animal Science* 71, 1495-1502.
21. McKeith, R.O., Gray, G.D., Hale, D.S., Kerth, C.R., Griffin, D.B., Savell, J.W., Raines, C.R., Belk, K.E., Woerner, D.R., Tatum, J.D., Igo, J.L., VanOverbeke, D.L., Mafi, G.G., Lawrence, T.E., Delmore, R.J., Jr., Christensen, L.M., Shackelford, S.D., King, D.A., Wheeler, T.L., Meadows, L.R., O'Connor, M.E., 2012. National Beef Quality Audit-2011: Harvest-floor assessments of targeted characteristics that affect quality and value of cattle, carcasses, and byproducts. *Journal of Animal Science* 90, 5135-5142.
22. McKenna, D.R., Roebert, D.L., Bates, P.K., Schmidt, T.B., Hale, D.S., Griffin, D.B., Savell, J.W., Brooks, J.C., Morgan, J.B., Montgomery, T.H., Belk, K.E., Smith, G.C., 2002. National Beef Quality Audit-2000: survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science* 80, 1212-1222.
23. Mendonça, F.S., Vaz, R.Z., Cardoso, F.F., Restle, J., Vaz, F.N., Pascoal, L.L., Reimann, F.A., Boligon, A.A., 2018. Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses. *Animal Production Science* 58, 385-392.
24. Miranda-de la Lama, G.C., Leyva, I.G., Barreras-Serrano, A., Perez-Linares, C., Sanchez-Lopez, E., Maria, G.A., Figueroa-Saavedra, F., 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Tropical animal health and production* 44, 497-504.

25. Moreira, P.S.A., Polizel Neto, A., Martins, L.R., Lourenço, F.J., Palhari, C., Faria, F.F., 2014. Occurrence of carcasses bruises of beef cattle transported by two distances. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 15, 689-695.
26. Petroni, R., Bürger, K.P., González, P.O., Rossi, G.A.M., Vidal-Martins, A.M.C., Aguilar, C.E.G., 2013. Bruises occurrence in cattle carcasses at a slaughterhouse. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 14, 478-484.
27. Rebagliati, J.E., Ballerio, M., Acerbi, R., Diaz, M., Alvarez, M.M., Bigatti, F., Cruz, J.A., Scitelli, L., Ergonzelli, P., Gonzalez, C., Civit, D., Ghezzi, M.D., 2008. Evaluación de las prácticas ganaderas en bovinos que causan perjuicios económicos en plantas frigoríficas de la República Argentina (2005). *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* IX, 1-40.
28. Rezac, D.J., Thomson, D.U., Siemens, M.G., Prouty, F.L., Reinhardt, C.D., Bartle, S.J., 2014. A survey of gross pathologic conditions in cull cows at slaughter in the Great Lakes region of the United States. *Journal of Dairy Science* 97, 4227-4235.
29. Roeber, D.L., Mies, P.D., Smith, C.D., Belk, K.E., Field, T.G., Tatum, J.D., Scanga, J.A., Smith, G.C., 2001. National market cow and bull beef quality audit-1999: a survey of producer-related defects in market cows and bulls. *Journal of Animal Science* 79, 658-665.
30. Romero, M.H., Gutierrez, C., Sanchez, J.A., 2011. Evaluation of preslaughter management and its relationship with the bruises presence on beef carcasses. *Biosalud* 10, 28-36.
31. Romero, M.H., Uribe-Velasquez, L.F., Sanchez, J.A., Miranda-de la Lama, G.C., 2013. Risk factors influencing bruising and high muscle pH in Colombian cattle carcasses due to transport and pre-slaughter operations. *Meat Science* 95, 256-263.
32. Sanchez-Perez, J.N., Robles-Estrada, J.C., Portillo-Loera, J.J., Rios-Rincón, F.G., Felix-Bernal, J.A., Leyva-Medina, K.H., Acuña-Melendez, O.S., Davila-Ramos, H., 2019. Prevalence, characterization and risk factors associated with bovine carcasses bruises at a slaughterhouse in Sinaloa, Mexico. *Biocencia* XXI, 114-120.
33. Sornas, A.S., Rossi, P., Jr., Moizes, F.F., 2016. Losses occasioned by injuries in bovine carcass and its economic reflection in the state of Paraná. *Archives of Veterinary Science* 21, 119-130.
34. Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H., Gallo, C., Kemp, B., 2010. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science* 86, 859-864.
35. Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H., Gallo, C., Kemp, B., 2012. Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. *Animal : an international journal of animal bioscience* 6, 502-509.
36. Strappini, A.C., Metz, J.H., Gallo, C., Frankena, K., Vargas, R., de Freslon, I., Kemp, B., 2013. Bruises in culled cows: when, where and how are they inflicted? *Animal : an international journal of animal bioscience* 7, 485-491.
37. Tuninetti, N., Blainq, L., Otero, J.L., 2017. Evaluación de las contusiones y del pH en canales bovinas en un matadero de la provincia de Santa Fé. *InVet* 19.
38. Van Donkersgoed, J., Jewison, G., Bygrove, S., Gillis, K., Malchow, D., McLeod, G., 2001. Canadian beef quality audit 1998-99. *Canadian Veterinary Journal* 42, 121-126.
39. Van Donkersgoed, J., Jewison, G., Mann, M., Cherry, B., Altwasser, B., Lower, R., Wiggins, K., Dejonge, R., Thorlakson, B., Moss, E., Mills, C., Grogan, H., 1997. Canadian beef quality audit. *Canadian Veterinary Journal* 38, 217-225.
40. Vega-Britez, G.D., Alcaraz, A., Lesmo, N.D., Alvarenga, J.D., Velazquez, J.A., 2019. Effect of land transport on bovine carcass in the Northern of Paraguay. *Compendio de Ciencias Veterinarias* 9, 35-41.
41. Youngers, M.E., Thomson, D.U., Schwandt, E.F., Simroth, J.C., Bartle, S.J., Siemens, M.G., Reinhardt, C.D., 2017. Case study: Prevalence of horns and bruising in feedlot cattle at slaughter. *Professional Animal Scientist* 33, 135-139.

Summary of the 41 studies included in the meta-analysis

Reference	Country	Sample population	Study design	Bruised carcasses / Total	Prevalence (95% CI)
Bertoloni et al. (2012) ^a	Brazil	Nelore cattle	Cross-sectional	199 / 255	78.0% (72.6 to 82.7)
Braga et al. (2014) ^b	Brazil	NR	Cross-sectional	91 / 128	71.1% (62.7 to 78.2)

Cardoso et al. (2011)	Brazil	NR	Cross-sectional	631 / 697	90.5% (88.1 to 92.5)
Crosi et al. (2015)	Uruguay	Cattle of mixed age	Cross-sectional	457 / 1,030	44.4% (41.4 to 47.4)
da Silva et al. (2014)	Brazil	NR	Experiment	285 / 320	89.1% (85.2 to 92.0)
de Andrade et al. (2008a)	Brazil	Female and male Nelore cattle, 9.5-12.5 years of age	Cross-sectional	83 / 88	94.3% (87.4 to 97.5)
de Andrade et al. (2008b)	Brazil	Female and male Nelore cattle, 2.5-6.5 years of age	Cross-sectional	102 / 121	84.3% (76.8 to 89.7)
de Assis et al. (2011)	Brazil	NR	Survey	1,280 / 13,000	9.8% (9.3 to 10.4)
de Freslon et al. (2014) ^c	Chile	Male black and red Friesian cattle, 2 years of age, 450 kg of weight	Cross-sectional	30 / 41	73.2% (58.1 to 84.3)
Eastwood et al. (2017)	USA	NR	Survey	9,478 / 24,366	38.9% (38.3 to 39.5)
Gallo et al. (1999)	Chile	NR	Retrospective	8,829 / 114,666	7.8% (7.6 to 7.9)
Gallo et al. (2001) ^d	Chile	Female and male Hereford and Angus cattle, 400 kg of weight	Experiment	24 / 40	60.0% (44.6 to 73.7)
Garcia et al. (2008)	USA	NR	Survey	3,335 / 9,475	35.2% (34.2 to 39.5)
Godoy et al. (1986)	Chile	NR	Cross-sectional	418 / 4,517	9.3% (8.4 to 10.1)
Goldhawk et al. (2015)	Canada	Female cattle, 688 kg of weight	Cross-sectional	529 / 627	84.4% (81.3 to 87.0)
Harris et al. (2017)	USA	NR	Survey	2,899 / 4,651	62.3% (60.9 to 63.7)
Huertas et al. (2010)	Uruguay	NR	Survey	9,106 / 15,168	60.0% (59.3 to 60.8)
Huertas et al. (2018)	Uruguay	European breed cattle, 450 kg of weight	Cross-sectional	7,360 / 8,132	90.5% (89.9 to 91.1)
Lee et al. (2017) ^e	USA	Male and female Holstein or beef cattle	Cross-sectional	6,725 / 9,860	68.2% (67.3 to 69.1)
Lorenzen et al. (1993)	USA	NR	Survey	14,505 / 37,002	39.2% (38.7 to 39.7)
McKeith et al. (2012)	USA	NR	Survey	4,177 / 18,159	23.0% (22.4 to 23.6)

McKenna et al. (2002)	USA	NR	Survey	20,360 / 43,595	46.7% (46.2 to 47.2)
Mendonça et al. (2018)	Brazil	Female and Male British breed and zebu cattle, 442-461 kg of weight	Cross-sectional	2,405 / 4,438	54.2% (52.7 to 55.7)
Miranda-de la Lama et al. (2012)	Mexico	Male mixed breed cattle, 1-2 years of age, 450 kg of weight	Cross-sectional	1,143 / 1,236	92.5% (90.9 to 93.8)
Moreira et al. (2014)	Brazil	Male Nelore cattle, 2.5-3 years of age	Cross-sectional	414 / 624	66.3% (62.5 to 69.9)
Petroni et al. (2013)	Brazil	NR	Cross-sectional	880 / 898	98.0% (96.9 to 98.7)
Rebagliati et al. (2008) ^f	Argentina	NR	Survey	3,549 / 9,343	38.0% (37.0 to 39.0)
Rezac et al. (2014)	USA	NR	Survey	790 / 1,461	54.1% (51.5 to 56.6)
Roeber et al. (2001)	USA	NR	Survey	4,725 / 5,679	83.2% (82.2 to 84.2)
Romero et al. (2011)	Colombia	Females and male <i>Bos indicus</i> and <i>B. taurus</i> cattle, 436 kg of weight	Cross-sectional	1,929 / 2,288	84.3% (82.8 to 85.7)
Romero et al. (2013)	Colombia	Female and male Zebu breeds cattle, 1-3 years of age, 455 kg of weight	Cross-sectional	442 / 1,179	37.5% (34.8 to 40.3)
Sanchez-Perez et al. (2019)	Mexico	NR	Cross-sectional	335 / 442	75.8% (71.6 to 79.6)
Sornas et al. (2016)	Brazil	NR	Retrospective	26,155 / 253,583	10.3% (10.2 to 10.4)
Strappini et al. (2010)	Chile	NR	Retrospective	15,586 / 127,838	12.2% (12.0 to 12.4)
Strappini et al. (2012)	Chile	Female dairy type cattle	Cross-sectional	238 / 258	92.2% (88.3 to 94.9)
Strappini et al. (2013)	Chile	Female black and red Friesian cattle	Cross-sectional	37 / 52	71.2% (57.7 to 81.7)
Tuninetti et al. (2017)	Argentina	Female and male Brangus and Bradford cattle, 488 kg of weight	Cross-sectional	299 / 300	99.7% (98.1 to 99.9)
Van Donkersgoed et al. (2001)	Canada	NR	Survey	10,952 / 20,281	54.0% (53.5 to 54.7)
Van Donkersgoed et al. (1997)	Canada	NR	Survey	20,322 / 26,054	78.0% (77.5 to 78.5)

Vega-Britez et al. (2019)	Paraguay	NR	Cross-sectional	127 / 652	19.5% (16.6 to 22.7)
Youngers et al. (2017) ^g	USA	Male and female Holstein and beef breed cattle	Case study	2,370 / 4,287	55.3% (53.8 to 56.8)

NR = Non-reported in the study

^a Results from experiment II are reported in this study.

^b Results from the fifth evaluation are reported in this study.

^c The study reports only recent bruises with a bright red or dark red color.

^d The study compares four schemes of time traveled in two seasons of the year (cold, autumn-winter; hot, spring-summer).

^e The study reports the average prevalence as a percentage for 75 lots (131 heads per lot) assessed in the study.

^f The data correspond to abattoir 1.

^g The data correspond to 27 lots with an average number of 159 animals per lot.

Web-appendix 4. List of the studies included in the systematic review

- Bertoloni, W., da Silva, J.L., de Abreu, J.S., Andreolla, D.L., 2012. Welfare and bruise index of cattle transported in different distance and trucks design in the Mato Grosso state - Brazil. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 13, 850-859.
- Bethancourt-Garcia, J.A., Vaz, R.Z., Vaz, F.N., Silva, W.B., Pascoal, L.L., Mendonça, F.S., Vara, C.C.d., Nuñez, A.J.C., Restle, J., 2019. Pre-slaughter factors affecting the incidence of severe bruising in cattle carcasses. *Livestock Science* 222, 41-48.
- Cardoso, M.R.P., Moura, M.S., Moreira, M.D., 2011. Occurrence of bruises in slaughtered cattle carcasses in a slaughter plant in Uberlândia-MG. *PUBVET* 5, unpaginated.
- Crosi, G., Prado, M., Huertas, S., Imelio, J., Piaggio, J., Gil, A., 2015. Estudio observacional sobre presencia y caracterización de hematomas en carcasas vacunas de Uruguay. *Salud y Tecnología Veterinaria* 3, 41-50.
- da Silva, B., de Mattoso, M.R.B., de Oliveiraa, H.C., Morais, H.R., de Fátima, K., Biase, N.G., 2014. Quantity, location, and description of bruises in beef cattle slaughtered under sanitary inspection. *Acta Scientiae Veterinariae* 42.
- de Andrade, E.N., de Oliveira, R.R., Silva, R.A.M.S., Gonçalves, H.C., Pinheiro, R.S.B., 2008a. Prevalence of carcass bruising in cattle meat slaughtered in Pantanal, Mato Grosso do Sul state, after fluvial transport. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 28, 822-829.
- de Andrade, E.N., Silva, R.A.M.S., Roça, R.D.O., Da Silva, L.A.C., Gonçalves, H.C., Pinheiro, R.S.B., 2008b. Occurrence of carcass bruising of beef cattle in the Pantanal related to time spent transport. *Ciencia Rural* 38, 1991-1996.
- Gallo, C., Espinoza, M.A., Gasic, J., 2001. Effects of 36 hours road transport with or without a resting period on live weight and some meat quality aspects in cattle. *Archivos de Medicina Veterinaria* 33, 43-53.
- Gallo, C., Perez, V.S., Sanhueza, V.C., Gasic, Y.J., 2000. Effects of transport time of steers before slaughter on behaviour, weight loss and some carcass characteristics. *Archivos de medicina veterinaria* 32, 157-170.
- Godoy, M., Fernández, H., Morales, M.A., Ibarra, L., Sepúlveda, C., 1986. Bruises in bovine carcasses. Incidence and potential risk. *Avances en Ciencias Veterinarias* 1, 22-25.
- Goldhawk, C., Janzen, E., Gonzalez, L.A., Crowe, T., Kastelic, J., Kehler, C., Siemens, M., Ominski, K., Pajor, E., Schwartzkopf-Genswein, K.S., 2015. Trailer temperature and humidity during winter transport of cattle in Canada and evaluation of indicators used to assess the welfare of cull beef cows before and after transport. *Journal of Animal Science* 93, 3639-3653.
- Huertas, S.M., Gil, A.D., Piaggio, J.M., van Eerdenburg, F.J.C.M., 2010. Transportation of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcass bruising in an extensive production system. *Animal Welfare* 19, 281-285.
- Huertas, S.M., Kempener, R., van Eerdenburg, F.J.C.M., 2018. Relationship between Methods of Loading and Unloading, Carcass Bruising, and Animal Welfare in the Transportation of Extensively Reared Beef Cattle. *Animals* : an open access journal from MDPI 8.

14. Lee, T.L., Reinhardt, C.D., Bartle, S.J., Vahl, C.I., Siemens, M., Thomson, D.U., 2017. Assessment of risk factors contributing to carcass bruising in fed cattle at commercial slaughter facilities. *Translational Animal Science* 1, 489-497.
15. Mendonça, F.S., Vaz, R.Z., Leal, W.S., Restle, J., Pascoal, L.L., Vaz, M.B., Farias, G.D., 2016. Genetic group and horns presence in bruises and economic losses in cattle carcasses. *Semina: Ciências Agrárias* 37, 4265-4274.
16. Mendonça, F.S., Vaz, R.Z., Vaz, F.N., Leal, W.S., Silveira, I.D.B., Restle, J., Boligon, A.A., Cardoso, F.F., 2019. Causes of bruising in carcasses of beef cattle during farm, transport, and slaughterhouse handling in Brazil. *Animal Science Journal* 90, 288-296.
17. Menezes, L.D.M., 2018. Analysis of intrinsic and transportation variables about bruises profile in cattle carcasses. *Revista Electronica de Veterinaria* 19.
18. Miranda-de la Lama, G.C., Leyva, I.G., Barreras-Serrano, A., Perez-Linares, C., Sanchez-Lopez, E., Maria, G.A., Figueroa-Saavedra, F., 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Tropical animal health and production* 44, 497-504.
19. Petroni, R., Bürger, K.P., Gonçalves, P.O., Rossi, G.A.M., Vidal-Martins, A.M.C., Aguilar, C.E.G., 2013. Bruises occurrence in cattle carcasses at a slaughterhouse. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 14, 478-484.
20. Rebagliati, J.E., Ballerio, M., Acerbi, R., Diaz, M., Alvarez, M.M., Bigatti, F., Cruz, J.A., Scitelli, L., Ergonzelli, P., Gonzalez, C., Civit, D., Ghezzi, M.D., 2008. Evaluación de las prácticas ganaderas en bovinos que causan perjuicios económicos en plantas frigoríficas de la República Argentina (2005). REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria* IX, 1-40.
21. Romero, M.H., Gutierrez, C., Sanchez, J.A., 2011. Evaluation of preslaughter management and its relationship with the bruises presence on beef carcasses. *Biosalud* 10, 28-36.
22. Romero, M.H., Uribe-Velasquez, L.F., Sanchez, J.A., Miranda-de la Lama, G.C., 2013. Risk factors influencing bruising and high muscle pH in Colombian cattle carcasses due to transport and pre-slaughter operations. *Meat Science* 95, 256-263.
23. Sanchez-Perez, J.N., Robles-Estrada, J.C., Portillo-Loera, J.J., Rios-Rincón, F.G., Felix-Bernal, J.A., Leyva-Medina, K.H., Acuña-Melendez, O.S., Davila-Ramos, H., 2019. Prevalence, characterization and risk factors associated with bovine carcasses bruises at a slaughterhouse in Sinaloa, Mexico. *Biocencia* XXI, 114-120.
24. Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H., Gallo, C., Kemp, B., 2010. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Science* 86, 859-864.
25. Strappini, A.C., Frankena, K., Metz, J.H., Gallo, C., Kemp, B., 2012. Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. *Animal : an international journal of animal bioscience* 6, 502-509.
26. Strappini, A.C., Metz, J.H., Gallo, C., Frankena, K., Vargas, R., de Freslon, I., Kemp, B., 2013. Bruises in culled cows: when, where and how are they inflicted? *Animal : an international journal of animal bioscience* 7, 485-491.
27. Youngers, M.E., Thomson, D.U., Schwandt, E.F., Simroth, J.C., Bartle, S.J., Siemens, M.G., Reinhardt, C.D., 2017. Case study: Prevalence of horns and bruising in feedlot cattle at slaughter. *Professional Animal Scientist* 33, 135-139.

1 Summary of the 27 studies included in the systematic review

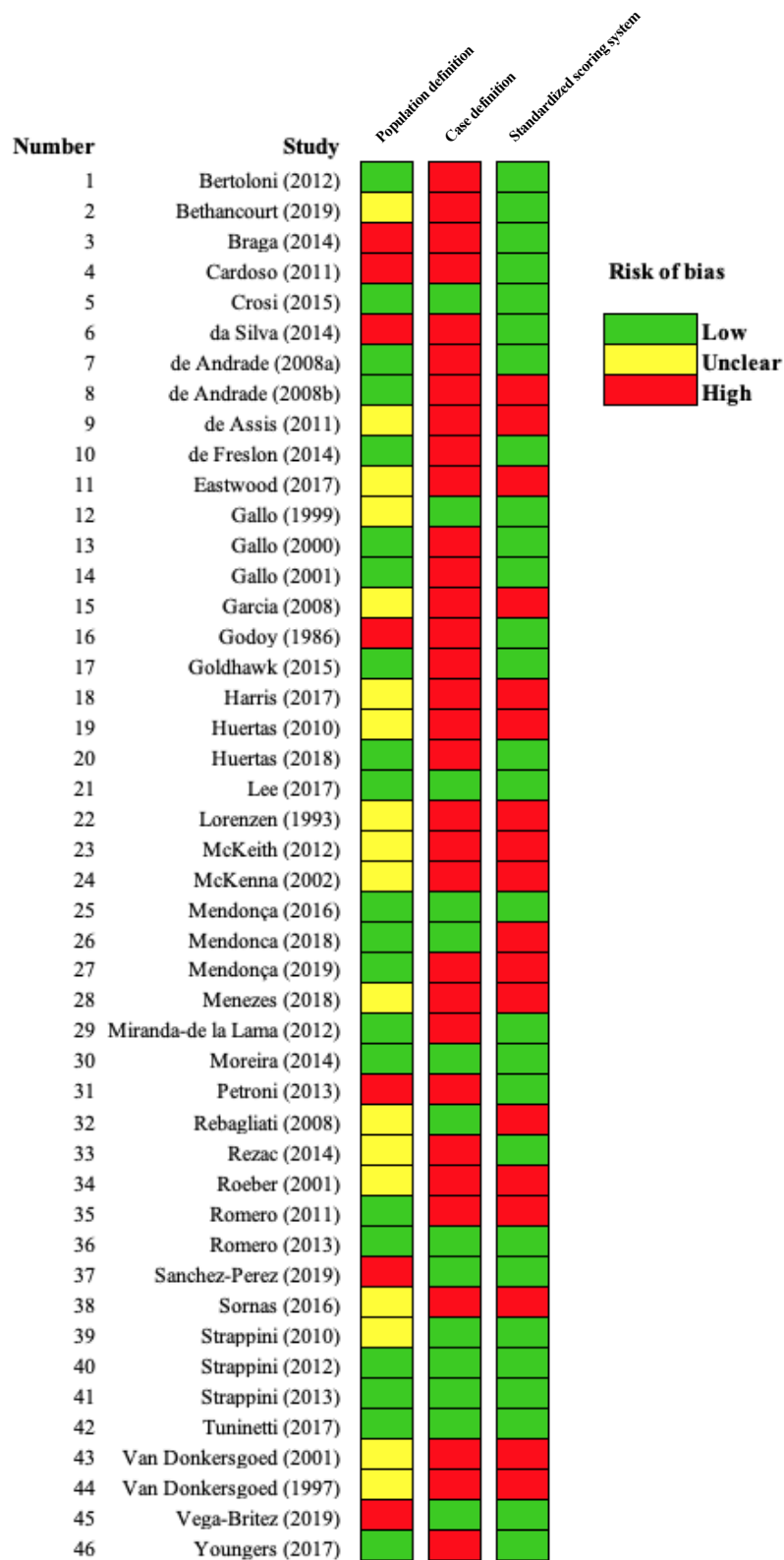
2

Study	Country	Study design	Population / sample size	Type of risk factor	Risk factors identified	Characteristics examined for association / <i>p</i> -value
Bertoloni et al. (2012)	Brazil	Cross-sectional	Nelore cattle / n=255	Extrinsic	Type of transport and distance traveled	Age / NR Anatomical site / NR Severity / <i>p</i> <0.05 Size / <i>p</i> <0.05
Bethancourt-Garcia et al. (2019)	Brazil	Cross-sectional	Angus and Hereford and their crosses cull cows and heifers (40%) and castrated steers (60%), 3-12 years, 451.7-467.1 kg of body weight / n=154,100	Mixture	Sex, facilities, handling, stocking density, transport, and distance traveled	Severity / <i>p</i> <0.001
Cardoso et al. (2011)	Brazil	Cross-sectional	NR / n=697	Extrinsic	Distance traveled	Anatomical site / NR Severity / NR
Crosi et al. (2015)	Uruguay	Cross-sectional	Steers, heifers, bulls and cows / n=1,030	Intrinsic	Sex and age	Anatomical site / NR Severity / NR Shape / NR
da Silva et al. (2014)	Brazil	Experimental	Adult cows / n=320	Extrinsic	Distance traveled	Age / NR Anatomical site / <i>p</i> >0.05 Severity / NR Size / <i>p</i> >0.05
de Andrade et al. (2008a)	Brazil	Cross-sectional	Nelore cows, heifers, and oxen, 2.5-6.5 years / n=121	Extrinsic	Transport conditions, time and distance traveled	Anatomical site / NR Removed meat / NR Size / <i>p</i> <0.01
de Andrade et al. (2008b)	Brazil	Cross-sectional	Nelore cows (86.3%), oxen (8%), and males (5.7%), 9.5-12.5 years / n=88	Extrinsic	Distance traveled and time	Age / <i>p</i> <0.01 Removed meat / NR Size / <i>p</i> <0.01
Gallo et al. (2001)	Chile	Experimental	Hereford and Angus steers (50%) and heifers (50%), 400 kg of body weight / n=40	Extrinsic	Resting period during transportation	Severity / NR
Gallo et al. (2000)	Chile	Experimental	Male Friesian steers, 2 years, 447-438 kg of body weight / n=139	Extrinsic	Time of transportation	Severity / NR

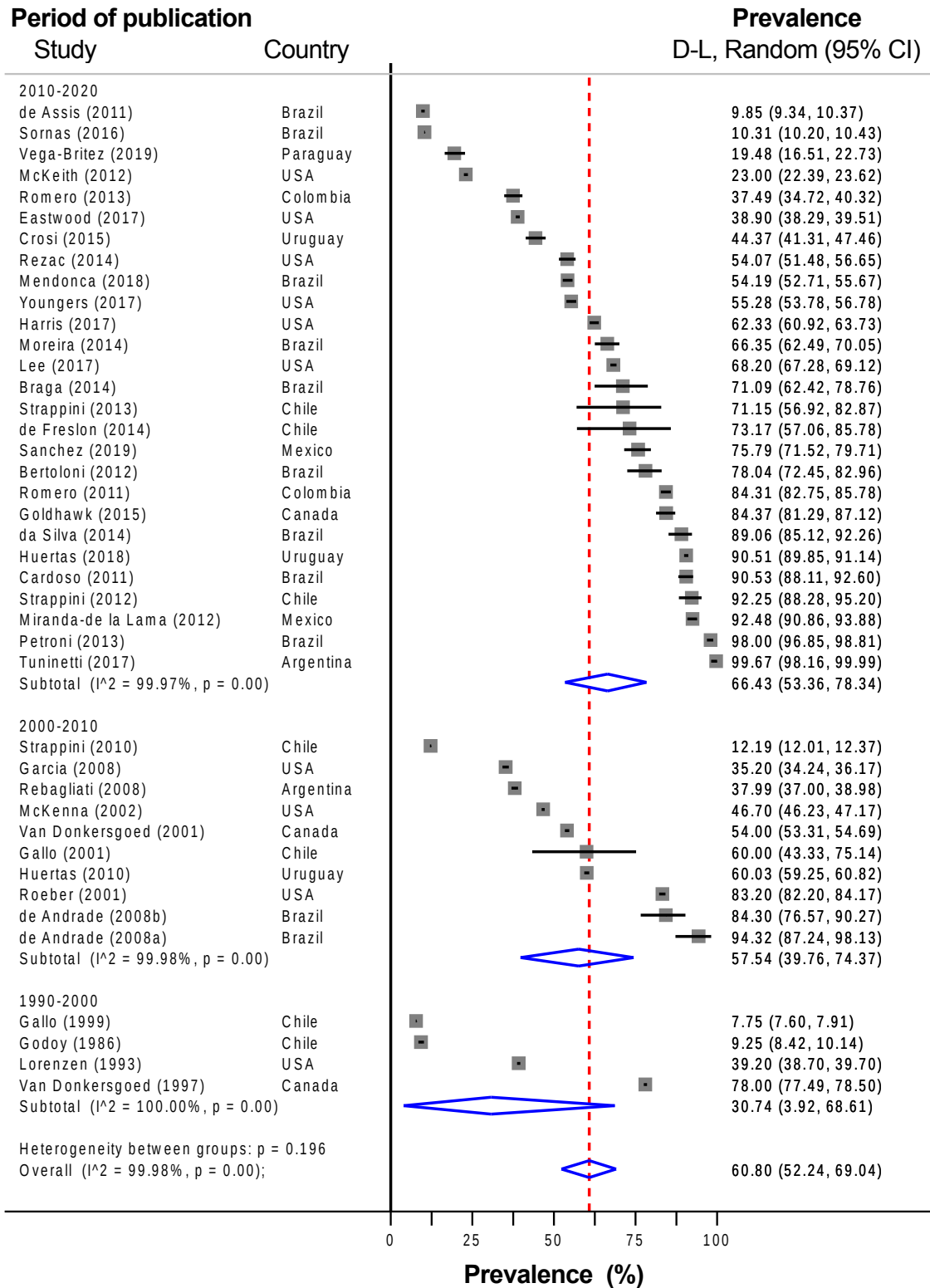
Study	Country	Study design	Population / sample size	Type of risk factor	Risk factor identified	Characteristics examined for association / <i>p</i> -value
Goldhawk et al. (2015)	Canada	Cross-sectional	Cull beef cows, 688 kg of body weight / n=627	Extrinsic	Transport and handling	Severity / <i>p</i> <0.001
Godoy et al. (1986)	Chile	Cross-sectional	NR	Extrinsic	Distance traveled	Anatomical site / NR Removed meat / NR Severity / <i>p</i> <0.05
Huertas et al. (2010)	Uruguay	Survey	Hereford, Angus and their crosses heifers, cows, calves, and bulls / n=15,168	Extrinsic	Transport and handling	Severity / NR
Huertas et al. (2018)	Uruguay	Cross-sectional	European breed, 450 kg of body weight / n=8,132	Extrinsic	Load and unloading	Anatomical site / NR Severity / NR
Lee et al. (2017)	USA	Cross-sectional	Holstein or beef cattle steers and heifers / n=9,860	Mixture	Sex, trailer type, distance traveled, and breed	Anatomical site / NR Size / NR
Mendonça et al. (2016)	Brazil	Experimental	Zebu or Taurine cattle, cull females, bulls, oxen, and cows / n=2,520	Intrinsic	Genetic group and presence of horns	Anatomical site / <i>p</i> >0.05 Removed meat / <i>p</i> <0.05
Mendonça et al. (2019)	Brazil	Cross-sectional	Mixed breed oxen (55%) and cull cows (45%), 442-461 kg of body weight / n=4,611	Mixture	Sex, distance traveled and time, type of vehicle, handling, and facilities	Anatomical site / <i>p</i> <0.05
Menezes (2018)	Brazil	Cross-sectional	Steers (37.8%) and cows (62.2%) / n=246	Mixture	Sex and distance traveled	Anatomical site / NR Removed meat / NR
Miranda-de la Lama et al. (2012)	Mexico	Cross-sectional	Male of mixed breed, 2-2.3 years, 405-495 kg of body weight / n=1,236	Extrinsic	Unloading and handling	Anatomical site / NR Severity / NR Size / NR
Petroni et al. (2013)	Brazil	Cross-sectional	NR / n=898	Extrinsic	Distance traveled	Anatomical site / NR Removed meat / NR Severity / NR

Study	Country	Study design	Population / sample size	Type of risk factor	Risk factor identified	Characteristics examined for association / <i>p</i> -value
Rebagliati et al. (2008)	Argentina	Survey	NR / n=17,370	Extrinsic	Distance traveled, handling practices, facilities, lairage time, and origin of the cattle	Anatomical site / NR Removed meat / NR Severity / NR
Romero et al. (2011)	Colombia	Cross-sectional	Male and female <i>Bos indicus</i> and crosses / n=2,288	Extrinsic	Handling practices and transportation conditions	Anatomical site / <i>p</i> <0.05 Severity / <i>p</i> <0.05 Size / NR
Romero et al. (2013)	Colombia	Cross-sectional	Brahman young bulls (38.8%), steers (34%), cows (20.3%), heifers (5.3%), and bulls (1.6%), 1-3 years, 452-458 kg of body weight / n=1,179	Mixture	Origin of the cattle, lairage time, stocking density, transport distance, time, and age group	Anatomical site / NR Severity / NR Shape / NR Size / NR
Sanchez-Perez et al. (2019)	Mexico	Cross-sectional	NR	Mixture	Origin of the cattle, lairage time, sex, and age group	Anatomical site / <i>p</i> <0.05 Severity / <i>p</i> <0.05 Shape / <i>p</i> <0.05 Size / <i>p</i> <0.05
Strappini et al. (2010)	Chile	Retrospective	Steers, cows, oxen, and heifers / n=127,838	Mixture	Animal type, fat cover, origin of the cattle, and lairage time	Severity / NR
Strappini et al. (2012)	Chile	Cross-sectional	Dairy-type female cattle / n= 258	Extrinsic	Origin of the cattle	Age / <i>p</i> =0.89 Severity / <i>p</i> <0.01 Shape / <i>p</i> =0.019 Size / <i>p</i> =0.12
Strappini et al. (2013)	Chile	Cross-sectional	Black and Red Friesian culled dairy cows / n=52	Extrinsic	Handling and facilities	Age / <i>p</i> =0.68 Anatomical site / <i>p</i> <0.001 Severity / <i>p</i> =0.28 Shape / <i>p</i> =0.62 Size / <i>p</i> <0.01
Youngers et al. (2017)	USA	Case study	Holstein and beef breeds steers and heifers / n=4,287	Intrinsic	Presence of horns	Anatomical site / NR Severity / NR

Web-appendix 5. Assessment of risk of bias for the individual studies



Web-appendix 6. Forest plot of the prevalence of carcass bruising segmented by decades



Web-appendix 7. Results for removed meat due to bruising

Removed meat due to bruising was assessed in seven studies, among which four studies reported values ranging from 15.6 to 647.1 kg of removed meat for the total number of carcasses evaluated during the study. Six studies that reported the mean value of removed meat per carcass showed broad heterogeneity (range, 0.11-1.12 kg per carcass). One study evaluated the effect of handling practices/facilities on the amount of removed meat due to bruising, while four other studies examined factors such as transportation conditions/distance traveled (**Web-appendix 4**). However, there was a lack of statistical evidence for the relationship between the amount of removed meat and the risk factors for bruising, as 6/7 studies did not report a measure of association. Only one study found a significant association between the breed/presence of horns and an increased amount of removed meat due to bruising.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN GENERAL

El incremento en el inventario de ganado bovino que se destina a producción cárnica y las técnicas actuales de engorda ha propiciado que se incurra en prácticas que no favorecen al bienestar de los bovinos. Las cinco libertades de los animales han quedado relegadas y en una gran parte de la industria pasaron a un segundo plano, estas suelen ser solo una parte protocolaria en los lineamientos que rigen las normativas necesarias para la comercialización de los productos derivados de los bovinos. En México, la línea de investigación referente a bienestar animal es sumamente escasa, de hecho, el número de estudios sobre prevalencia de las contusiones es mínimo. Por otro lado, en América se reportan menos de un centenar de trabajos enfocados en valorar el manejo y las repercusiones de este en plantas de sacrificio de ganado bovino. Las contusiones que se observan en las canales reflejan en parte, las condiciones de las instalaciones, de manejo y traslado. Por lo tanto, es de suma importancia contar con protocolos enfocados a prevenir que los animales de abasto estén expuestos a factores que influyan en situaciones estresantes y especialmente que coadyuben en la reducción de las altas prevalencias de contusiones que en algunas partes del mundo se han reportado.

Los resultados del metaanálisis revelan, entre otras cosas, que las contusiones son una lesión habitual en las regiones que constituyen nuestra población de estudio, mismas que representan a países importantes productores de carne de bovino a nivel mundial. El hecho de que en algunas regiones de Sudamérica se concentren una gran cantidad de estudios y que reporten altas prevalencias, indica la falta de investigación al respecto en otras regiones y que, por otra parte, el bienestar animal está comprometido en una gran cantidad de bovinos y países. Por último, es importante resaltar que, en los últimos años, se ha incrementado el interés, sobre todo de los consumidores, por las correctas prácticas de crianza, manejo y sacrificio de los bovinos y que ello constituye el parteaguas para que la industria centre esfuerzos para asegurar la calidad ética de los productos cárnicos y que impacte directamente en las condiciones idóneas para los bovinos de abasto, asegurando así el bienestar animal.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Se concluye que en los bovinos evaluados en el rastro TIF existe una alta prevalencia de contusiones en las canales ya que fue superior al 75%. Además, que los factores de riesgo que resultaron significativos contribuyen de manera importante en dicha prevalencia, sobre todo la distancia recorrida hasta la planta de sacrificio. Este último punto incrementa su importancia cuando la estación del año y el clima son desfavorables para el bovino. En otro aspecto, los sitios anatómicos que resultaron más afectados corresponden a los de mayor valor comercial.

Por otra parte, en América se observa un promedio superior al 60% de canales contusas, aunado a una alta heterogeneidad entre resultados de los estudios. El tamaño de la muestra y el tipo de estudio resultaron significativos como co-variables parcialmente explicativas de la heterogeneidad en el porcentaje de contusiones observada entre países. Y, además se encontró una relación entre las contusiones y factores de riesgo extrínsecos principalmente el traslado.

CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA

- Adzitey, F. 2011. Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality. *International Food Research Journal*. 18:485-491.
- Amtmann, V. C. Gallo, G. Van Schaik. 2004. Factores de riesgo asociados a la presentación de carnes de corte oscuro en bovinos. XIII congreso chileno de medicina veterinaria, Valdivia Chile.
- Anderson, B. Horder, J. C. 1979. The Australian Carcase Bruise Scoring System. *Queensland Agricultural Journal*. 105:281-287.
- Andrade, E. N. Silva, R. A. M. S. Roça, R. O. Silva, L. A. C. Gonçalves, H. C. Pinheiro, R. S. B. 2008. Occurrence of carcass bruising of beef cattle in the Pantanal related to time spent transport. *Ciência Rural*. 38:1991-1996.
- Bakbergenuly, I. Kulinskaya, E. Morgenthaler, S. 2016. Inference for binomial probability based on dependent Bernoulli random variables with applications to meta-analysis and group level studies. *Biometrical Journal Biometrische Zeitschrift*. 58(4):896-914.
- Bertola, D. 2010. Hans Selye y sus ratas estresadas. *Medicina Universitaria*. 12(47):142-143.
- Bertoloni, W. da Silva, J. L. de Abreu, J. S. Andreolla, D. L. 2012. Welfare and bruise index of cattle transported in different distance and trucks design in the Mato Grosso state - Brazil. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*. 13:850-859.
- Bethancourt-García, J. A. Vaz, R. Z. Vaz, F. N. Silva, W. B. Pascoal, L. L. Mendonça, F. S. Vara, C. C. Nuñez, A. J. C. Restle, J. 2019. Pre-slaughter factors affecting the incidence of severe bruising in cattle carcasses. *Livestock Science* 222:41-48.
- Bolaños, D. R. Calderón A. M. 2014. Introducción al meta-análisis tradicional. *Revista Gastroenterológica Perú*. 34(1):45-51.
- Botella, J. Sánchez-Meca, J. 2015. *Meta-análisis en Ciencias Sociales y de la Salud*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Botella, J. Zamora, Á. 2017. El meta-análisis: una metodología para la investigación en educación. *Educación XXI*. 20(2):17-38

- Bouissou, M. F. 1980. Behaviour of domestic cattle under modern management techniques. En: D.E. Hood, y P.V. Tarrant (eds.). The problem of dark cutting in beef. P:141-165.
- Broom, D. M. 1986. Indicators of poor welfare. The British Veterinary Journal. 142:524-526.
- Broom, D. M. 1988. The scientific assessment of animal welfare. Applied Animal Behaviour Science. 20, 5-19.
- Broom, D. M. 1996. Animal welfare defined in terms of attempts to cope with the environment. *Acta Agric. Scand. Sec. A. Anim. Sci. Suppl.*, 27, 22-28.
- Broom, D. M. 2001. Coping, Stress and welfare. In coping with the challenge: Welfare in Animals including Humans, Proceedings of Dahlem Conference, ed. D.M. Broom, 1-9. Berlin: Dahlem University Press.
- Broom, D. M. Fraser, A. F. 2007. Domestic Animal Behaviour and welfare, 4th Edition. Wallingford: CABI.
- Buckham, Sporer. K. R. Weber, P. S. D. Burton, J. L. Earley, B. Crowe, A. 2008. Transportation of young beef bulls alters circulating physiological parameters that may be effective biomarkers of stress. Journal of Animal Science. 86:1325-1334.
- Cardoso, M. R. P. Moura, M. S. Moreira, M. D. 2011. Occurrence of bruises in slaughtered cattle carcasses in a slaughter plant in Uberlândia-MG. *PUBVET*. 5.
- Cartes, M. M. 2000. Evaluación de la eficacia en el uso de la pistola de proyectil retenido para insensibilizar ganado bovino en tres plantas faenadoras de carne de la Décima Región. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Crosi, G. Prado, M. Huertas, S. Imelio, J. Piaggio, J. Gil, A. 2015. Estudio observacional sobre presencia y caracterización de hematomas en carcasas vacunas de Uruguay. *Salud y Tecnología Veterinaria*. 3(2):41-50.
- Cundiff, L. 1992. Genetic selections to improve quality and composition of beef carcasses. Proceedings of Reciprocal Meat Conference. 46:45.

- da Silva, B. Bueno de Mattos, M. R. de Oliveira, C. Ribeiro, H. de Fátima, K. Giaretta, N. 2014. Quantity, location, and description of bruises in beef cattle slaughtered under sanitary inspection. *Acta Scientiae Veterinariae*. 42:1-6.
- Davis, A. K. Maney, D. L. Maerz, J. C. 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Functional Ecology*. 22:760-772.
- de Andrade, E. N. de Oliveira, R. R. Silva, R. A. M. S. Gonçalves, H. C. Pinheiro, R. S. B. 2008. Prevalence of carcass bruising in cattle meat slaughtered in Pantanal, Mato Grosso do Sul state, after fluvial transport. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. 28(4):822-829.
- de Freslon, I. Strappini, A. C. Soto-Gamboa, M. Gallo, C. 2014. Caracterización de la reactividad conductual frente al manejo y su relación con el cortisol sanguíneo, contusiones y pH de la carne en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 46(2):229-237.
- Eastwood, L. C. Boykin, C. A. Harris, M. K. Arnold, A. N. Hale, D. S. Kerth, C. R. Stelzleni, A. M. 2017. National Beef Quality Audit-2016: Transportation, mobility, and harvest-floor assessments of targeted characteristics that affect quality and value of cattle, carcasses, and by-products. *Translational Animal Science*. 1(2):229-238.
- FAO, 2013. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Página web: <http://www.fao.org/3/a-i3300s.pdf>. Consultado enero de 2018.
- FAO, 2014. Agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Pagina web: <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>. Consultado febrero 2018.
- FAO, 2016. Página web: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>. Consultado abril de 2018.
- Farm Animal Welfare Council 1992 FAWC updates the five freedoms. *Veterinary Record* 17:357
- Farm Animal Welfare Council 1993 Second Report on Priorities for Research and Development in Farm Animal Welfare. Londres: DEFRA
- Ferguson, D. M. Warner, R. D. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*. 80(1):12-19.

- Ferreira, G. I. Urrutia, G. Coello, A. 2011. Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología* 64(8):688-696
- Frimpong, S. Gebresenbet, G. Bobobee, E. Aklaku, E. D. Hamdu, I. 2014. Effect of transportation and pre-slaughter handling on welfare and meat quality of cattle: case study of Kumasi abattoir, Ghana. *Veterinary Science*. 1:174-191.
- Galindo, M. F. A. Orihuela, T. A. 2004. *Etología aplicada*. México DF. Ed UNAM.
- Gallo, C. Gatica, C. 1995. Efecto del tiempo de ayuno sobre el peso vivo, de la canal y de algunos órganos en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 25:69-77.
- Gallo, C. Pérez, S. Sanhueza, C. Gasic, J. 2000. Efecto del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de la canal. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 32:157-170.
- Gallo, C. Tadich, N. 2005. Transporte terrestre de bovinos: efectos sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. *Agro-Ciencia*. 21:37-49.
- Gallo, C. Tadich, N. 2008. Bienestar animal y calidad de carne durante los manejos previos al faenamiento en bovinos. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 9:10B
- Gallo, C. Teuber, C. Cartes, M. Uribe, H. Grandin, T. 2003. Mejoras en la insensibilización de bovinos con pistola neumática de proyectil retenido tras cambios de equipamiento y capacitación del personal. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 35:2
- Gallo, C. Caro, M. Villarroel, C. Araya, P. 1999. Characteristics of cattle slaughtered within the Xth Region (Chile) according to the terms stated by the official chilean standards for classification and carcass grading. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 31(1):81-88.
- Gallo, C. Espinoza, M. A. Gasic, J. 2001. Effects of 36 hours road transport with or without a resting period on live weight and some meat quality aspects in cattle. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 33(1):43-53.
- Garcia, L. G. Nicholson, K. L. Hoffman, T. W. Lawrence, T. E. Hale, D. S. Griffin, D. B. Smith, G. C. 2008. National Beef Quality Audit 2005: Survey of targeted

- cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 86(12):3533-3543.
- Glass, G. V. 1976. Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*. 5:3-8.
- Goldhawk, C. Janzen, E. Gonzalez, L. A. Crowe, T. Kastelic, J. Kehler, C. Schwartzkopf-Genswein, K. S. 2015. Trailer temperature and humidity during winter transport of cattle in Canada and evaluation of indicators used to assess the welfare of cull beef cows before and after transport. *Journal of Animal Science*. 93(7):3639-3653.
- González, M. 2013. Valor comercial de la canal y de la carne de toretes Senepol x Brahman en Venezuela. Tesis de maestría. Universidad central de Venezuela.
- Gracey, J. F. Collins, D. S. Huey, R. J. 1999. Meat hygiene. 10 th ed. United Kingdom. Elsevier health science publishers.
- Grandin, T. 2007. Livestock handling and transport. 3 th ed. UK CAB international.
- Grandin, T. 1998. Buenas prácticas de manejo para el arreo e insensibilización de los animales. Informativo sobre carne y productos cárneos (Universidad Austral de Chile) 22:124-136.
- Grandin, T. 2000. Beef cattle behavior, handling and facilities design. *Grandin Livestock Systems*, 2^a ed. 226.
- Grandin, T. 2018. Welfare Problems in Cattle, Pigs, and Sheep that Persist Even Though Scientific Research Clearly Shows How to Prevent Them. *Animals*. 8:7-124.
- Grigor, P. N. Cockram, M. S. Steele, W. B. McIntyre, J. Williams, C. L. Leushuis, I. E. Van Reenen, C. G. 2004. A comparison of the welfare and meat quality of veal calves slaughtered on the farm with those subjected to transportation and lairage. *Livestock Production Science*. 91(3):219-228.
- Gupta, S. Earley, B. Crowe, M. A. 2007. Effect of 12-hour road transportation on physiological, immunological and hematological parameters in bulls housed at different space allowances. *Veterinary Journal*. 173:605-616.

- Harris, M. K. Eastwood, L. C. Boykin, C. A. Arnold, A. N. Gehring, K. B. Hale, D. S. Stelzleni, A. M. 2017. National Beef Quality Audit-2016: Transportation, mobility, live cattle, and carcass assessments of targeted producer-related characteristics that affect value of market cows and bulls, their carcasses, and associated by-products. *Translational Animal Science*. 1(4):570-584.
- Hoffman, L. C. Lühl, J. 2012. Causes of cattle bruising during handling and transport in Namibia. *Meat Science*. 92:115-124.
- HSA, Humane Slaughter Association. 2016. Humane killing of livestock using firearms. Wheathampstead-UK: Humane Slaughter Association.
- Huertas, S. M. Gil, A. D. Piaggio, J. M. van Eerdenburg, F. M. J. C. M. 2010. Transporting of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcasses bruising in an extensive production system. *Animal Welfare*. 19:281-285.
- Huertas, S. M. Kempener, R. van Eerdenburg, F. J. C. M. 2018. Relationship between Methods of Loading and Unloading, Carcass Bruising, and Animal Welfare in the Transportation of Extensively Reared Beef Cattle. *Animals (Basel)* 8(7):119.
- Jarvis, A. M. Selkirk, L. Cockram, M. S. 1995. The influence of source, sex class and pre-slaughter handling on the bruising of cattle at two slaughterhouses. *Livestock Production Science*. 43(3):215-224. .
- Lay, D. Wilson, M. 2001. Physiological indicators of stress in domestic livestock. *Symposium on Concentrated Animal Feeding Operations Regarding Animal Behavior Care and Well-Being*. Indiana. 1-25.
- Lee, T. L. Reinhardt, C. D. Bartle, S. J. Vahl, C. I. Siemens, M. Thomson, D. U. 2017. Assessment of risk factors contributing to carcass bruising in fed cattle at commercial slaughter facilities. *Transnational Animal Science*. 1:489-497
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Moher, D. 2009. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLOS Medicine*. 6:7.

- Liotta, L. Costa, L. N. Chiofalo, B. Ravarotto, L. Chiofalo, V. 2007. Effect of lairage duration on some blood constituents and beef quality in bulls after long journey. *Italian Journal of Animal Science*. 6(4):375-384.
- Marín-Martínez, F. Sánchez-Meca, J. López-López, J. A. (2009). El metaanálisis en el ámbito de las ciencias de la salud: una metodología imprescindible para la eficiente acumulación del conocimiento. *Fisioterapia*. 31(3):107-114.
- McKeith, R. O. Gray, G. D. Hale, D. S. Kerth, C. R. Griffin, D. B. Savell, J. W. O'Connor, M. E. 2012. National Beef Quality Audit-2011: Harvest-floor assessments of targeted characteristics that affect quality and value of cattle, carcasses, and byproducts. *Journal of Animal Science*. 90(13):5135-5142.
- McKenna, D. R. Roebert, D. L. Bates, P. K. Schmidt, T. B. Hale, D. S. Griffin, D. B. Smith, G. C. (2002). National Beef Quality Audit-2000: survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science*. 80(5):1212-1222.
- Mendonça, F. S. Vaz, R. Z. Cardoso, F. F. Restle, J. Vaz, F. N. Pascoal, L. L. Reimann, F. A. Boligon, A. A. 2018. Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses. *Animal Production Science*. 58:385-392.
- Mendonça, F. S. Vaz, R. Z. Leal, W. S. Restle, J. Pascoal, L. L. Vaz, M. B. Farias, G. D. 2016. Genetic group and horns presence in bruises and economic losses in cattle carcasses. *Semina:Ciencias Agrarias*. 37:4265-4274.
- Mendonça, F. S. Vaz, R. Z. Vaz, F. N. Leal, W. S. Silveira, I. D. B. Restle, J. Boligon, A. A. Cardoso, F. F. 2019. Causes of bruising in carcasses of beef cattle during farm, transport, and slaughterhouse handling in Brazil. *Animal Science Journal*. 90:288-296.
- Menezes, L. D. M. 2018. Analysis of intrinsic and transportation variables about bruises profile in cattle carcasses. *Revista Electronica de Veterinaria*. 19.
- MEXICANBEEF, 2018. Pagina web: <https://www.mexicanbeef.org/carne-de-res.php>. Consultado: noviembre de 2018.
- Miranda-de la Lama, G. C. 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. *Tropical Animal Health Production*. 44:497-504.
- 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 Science* 98(1):9-20.
- Miranda-de la Lama, G. C. Leyva, I. G. Barreras-Serrano, A. Perez-Linares, C. Sanchez-Lopez, E. Maria, G. A. Figueroa-Saavedra, F. 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 44(3):497-504.
- Moreira, P. S. A. Polizel Neto, A. Martins, L. R. Lourenço, F. J. Palhari, C. Faria, F. F. 2014. Occurrence of carcasses bruises of beef cattle transported by two distances. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*, 15(3):689-695.
- Mormède, P. Andanson, S. Aupérin, B. Beerda, B. Guémené, D. Malmkvist, J. 2007. Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology Behaviour*. 92:317-339.
- Mota-Rojas, D. Becerril-Herrera, M. Roldan-Santiago, P. Alonso-Spilsbury, M. Flores- Peinado, S. Ramírez-Necoechea, R. Ramírez-Telles, J.A. Mora-Medina, P. Peirez, M. Molina, E. Soni, E. Trujillo-Ortega, M. E. 2012. Effects of long distance transportation and CO₂ stunning on critical blood values in pigs. *Meat Science*. 90:893-898.
- Mpakama, T. Chulayo, A. Y. Muchenje, V. 2014. Bruising in slaughter cattle and its relationship with creatine kinase levels and beef quality as affected by animal related factors. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 27:717-725.
- Mpakama, T. Chulayo, A. Y. Muchenje, V. 2014. Bruising in slaughter cattle and its relationship with creatine kinase levels and beef quality as affected by animal related factors. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 27:717-25.
- Muños, D. Strappini, A. Gallo, C. 2012. Indicadores de bienestar animal para detectar problemas en el cajón de insensibilización de bovinos. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 44:297-302.
- NOM-009-Z00-1994. Proceso sanitario de la carne.

- NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.
- NOM-051-ZOO-1995. Trato humanitario en la movilización de animales.
- OIE, World Organization for Animal Health. 2018. Disponible en: <https://www.oie.int/en/animal-welfare/animal-welfare-at-a-glance/>
- Oliveira, S. E. O. Gregory, N. G. Dalla-Costa, F. A. Gibson, T. J. Dalla-Costa, O. A. Parahnos da Costa, M. J. R. 2018. Effectiveness of pneumatically powered penetrating and non-penetrating captive bolts in stunning cattle. *Meat Science*. 140:9-13.
- Pargas, H. L. Huerta-Leidenz, N. Fuentes, M. Mármol, J. Villegas, Y. Méndez, E. Rangel, J. C. Colmenarez, J. C. 2014. Factores que inciden sobre la frecuencia de defectos físicos causantes de decomisos parciales en canales bovinas de distinto origen y clase sexual y sus implicaciones económicas. *Nacameh*. 8(2):65-83.
- Peña-Ramos, A. Torrescano, G. Sanchez-Escalante, A. Camou, J. P. Gonzales-Rios, H. 2007. Rastros para ganado bovino. Capítulo 5. En buenas prácticas en la producción de alimentos. CIAD-Trillas. 89-118.
- Petroni, R. Bürger, K. P. Gonçalez, P. O. Rossi, G. A. M. Vidal-Martins, A. M. C. Aguilar, C. E. G. 2013. Bruises occurrence in cattle carcasses at a slaughterhouse. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*. 14(3):478-484.
- Rebagliati, J. E. Ballerio, M. Acerbi, R. Diaz, M. Alvarez, M. Bigatti, F. Cruz, J. A. Scitelli, L. Ergonzelli, P. Gonzalez, C. 2008. Evaluación de las prácticas ganaderas en bovinos que causan perjuicios económicos en plantas frigoríficas de la República Argentina (2005). *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*. 9:11-40.
- Rezac, D. J. Thomson, D. U. Siemens, M. G. Prouty, F. L. Reinhardt, C. D. Bartle, S. J. 2014. A survey of gross pathologic conditions in cull cows at slaughter in the Great Lakes region of the United States. *Journal of Dairy Science*. 97(7):4227-4235.

- Ríos-Rincón, F. G. Estrada-Angulo, A. Hernández-Bautista, J. Pérez-Linares, C. Portillo-Loera, J. J. Robles-Estrada, J. C. 2012. Post stunning factors that influence emesis in cattle. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3:343-356
- Romero, M. H. Gutiérrez, C. Sánchez, J. A. 2012. Evaluation of bruises as an animal welfare indicator during pre-slaughter of beef cattle. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 25:267-275.
- Romero, M. H. Gutiérrez, C. Sánchez, J. A. 2011. Evaluation of pre-slaughter management and its relationship with the bruises presence on beef carcasses. *Biosalud*. 10(2):28-36.
- Romero, M. H. Uribe-Velasquez, L. F. Sanchez, J. A. Miranda-de la Lama, G. C. 2013. Risk factors influencing bruising and high muscle pH in Colombian cattle carcasses due to transport and pre-slaughter operations. *Meat Science*. 95(2): 256-263.
- Romero, P. M. H. Uribe-Velásquez, L. F. Sánchez-Valencia, J. A. 2011. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud*. 10(1):71-87.
- SAGARPA, 2019. Consultado: junio de 2019. <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/conoces-el-proceso-del-ganado-dentro-de-un-rastro-tif?idiom=es>.
- Sapolsky, R. M. Romero, M. L. Munck, A. U. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory and preparative actions. *Endocrinology Review*. 21(1):55-89.
- Selye, H. 1936. A syndrome produce by Diverse Nocuous Agents. *Nature*.138:32.
- Selye, H. 1946. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 6(2):117-230.
- Sherbeck, J. Tatum, J. Field, T. Morgan J. y Smith, G. 1996. Effect of phenotypic expression of Brahman breeding on marbling and tenderness traits. *Journal of Animal Sciences*. 74:304-309.
- SIAP, 2018. Consultado: noviembre de 2018. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp.

- Sornas, A. S. Rossi, P. Jr. Moizes, F. F. 2016. Losses occasioned by injuries in bovine carcass and its economic reflection in the state of Paraná. *Archives of Veterinary Science*. 21(3):119-130.
- Stockman, C. A. Collins, T. Barnes, A. L. Miller, D. Wickham, S. L. Beatty, D. T. 2011. Qualitative behavioural assessment and quantitative physiological measurement of cattle naïve and habituated to road transport. *Journal Animal Prod Science*. 51:240-249.
- Strappini, A. C. Frankena, K. Metz, J. H. M. Gallo, C. Kemp, B. 2012. Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. *Animal* 6(3):502-509.
- Strappini, A. C. Frankena, K. Metz, J. H. M. Gallo, C. Kemp, B. 2010. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine. *Meat science* 86(3):859-864.
- Strappini, A. C. Metz, J. H. M. Gallo, C. Frankena, K. Vargas, R. Freslon, I. Kemp, B. 2013. Bruises in Culled Cows: when, where and how are they inflicted?. *Animal* 7(3):485-491.
- Strappini, A. C., Metz, J. H. M. Gallo, C. Kemp, B. 2009. Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal*. 3: 728-736.
- Tadich, N. Alvarado, M. Gallo, C. 2000. Efectos de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables indicadoras de estrés en bovinos. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 32:171-183.
- Tarrant, P. V. Grandin, T. 1993. Cattle transport. *Livestock handling and transporte di*. T Grandin, CAB int. 109-126.
- Torrescano, U. G. R. Sánchez, E. A. Gonzales, M. N. E. Camou, A. J. P. 2008. Tecnología e ingeniería del sacrificio y su repercusión en la calidad de la canal de animales de abasto. *Nacameh* 2(1):78-94.
- Trevisi, E. Bertoni, G. 2009. Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows. *Italian Journal of Animal Science*. 8(Suppl.1):265-286.
- Tuninetti, N. Blainq, L. Otero, J. L. 2017. Evaluación de las contusiones y del pH en canales bovinas en un matadero de la provincia de Santa Fé. *InVet*.19(1):317-321.

- Van Donkersgoed, J. Jewison, G. Mann, M. Cherry, B. Altwasser, B. Lower, R. Grogan, H. 1997. Canadian beef quality audit. *Canadian Veterinary Journal*. 38(4):217-225.
- Van Donkersgoed, J. Jewison, G. Bygrove, S. Gillis, K. Malchow, D. McLeod, G. 2001. Canadian beef quality audit 1998-99. *Canadian Veterinary Journal*. 42(2):121-126.
- Vega-Britez, G. D. Alcaraz, A. Lesmo, N. D. Alvarenga, J. D. Velazquez, J. A. 2019. Effect of land transport on bovine carcass in the Northern of Paraguay. *Compendio de Ciencias Veterinarias*. 9(1):35-41.
- Vimiso, P. Muchenje, V. 2013 A survey on the effect of transport method on bruises, pH and colour of meat from cattle slaughtered at a South African commercial abattoir. *South African Journal of Animal Science*. 43:105-111.
- Weeks, C. A. McNally, P. W. Warriss, P. D. 2002. Influence of the design of facilities at auction markets and animal handling procedures on bruising in cattle. *Veterinary Record*. 150(24):743-748.
- Wythes, J. Horder, J. Lapworth, J. Cheffins, R. 1979. Effect of tipped horns on cattle bruising. *Veterinary Record*. 104:390-392.
- Youngers, M. E. Thomson, D. U. Schwandt, E. F. Simroth, J. C. Bartle, S. J. Siemens, M. G. Reinhardt, C. D. 2017. Case study: prevalence of horns and bruising in feedlot cattle at slaughter. *The professional Animal Scientist*. 33:135-139.

CAPÍTULO 7. ANEXOS

Ejercicio de conceptualización de variables utilizadas para valorar indicadores de bienestar animal en bovinos en la etapa de muestreos en rastros en Culiacán.

Lugar de medición	Variable	Descripción de la variable	Implicación	Tipo de variable	Variación	Escala de medición	Categorías
<i>Antecámara de aturdimiento</i>	Orden de entrada	Número consecutivo de entrada a sacrificio.		Cuantitativa	Discreta	Ordinal	1-1168
	Golpe guillotina 2	Cuando el animal fue golpeado con la puerta al entrar a antecámara.	Lesión en dorso (contusión)	Cuantitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Cuernos	Se registró el tamaño (visualmente) en 4 categorías (sin cuernos, chico, mediano y grandes).	Factor de riesgo para contusiones	Cualitativa	Discreta	Ordinal	Sin cuernos, Chico, Medianos, Grandes
	Chicharra eléctrica	Se registró cuando un animal fue picaneado.	Lesión en área afectada / dolor	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Vocalización	Se registró si un animal emitía un mugido	Indica dolor o incomodidad en el bovino	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Torcedura de cola	Cuando el operario obligó a un animal a avanzar torciéndole la cola.	Lesión en área afectada y dolor	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Resbalar	Animal pierde el equilibrio / resbalón.	Estrés en los bovinos / infraestructura deficiente	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Golpe/por operarios	Se registró cuando un animal recibió un golpe.	Lesión en área / dolor	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
<i>Cajón de aturdimiento</i>	Golpe guillotina 3	Cuando el animal fue golpeado con la puerta la entrar al cajón.	Lesión en dorso (contusión)	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Intento de retroceso	Cuando un animal hechó el cuerpo hacia atrás, una vez dentro del cajón	Animal estresado / falta de sujetador de cabeza / falla en aturdimiento	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Intento de agacharse	Cuando un animal escondió la cabeza hacia abajo dentro del cajón de aturdimiento.	Animal estresado / Infraestructura deficiente / falla en aturdimiento	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Intento salir arriba	Cuando un animal intenta saltar afuera del cajón de aturdimiento	Animal estresado / Infraestructura deficiente / falla en aturdimiento	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Aire con pistola	Cuando el operario deja salir aire a presión de la pistola.	Posible pérdida de presión / falla en aturdimiento	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Atorado en puerta	Una vez aturcido, el bovino se atora en puerta de salida	Infraestructura deficiente / contusión <i>post mortem</i>	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Tiempo de espera en cajón	Tiempo que transcurre desde la entrada al cajón y el aturdimiento.	Aumento de estrés / falla en aturdimiento	Cuantitativa	Continua	De razón	5-3600 s
<i>Desangrado y reflejos</i>	Género	Sexo de cada bovino	Factor de riesgo	Cualitativa	Discreta	Nominal	Macho, Hembra
	Reflejo ocular	De manera visual, se registró cuando un bovino presentó movimiento ocular.	Fallo en aturdimiento	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Fase tónica	Fase que se observó como estiramiento de miembros anteriores con contracción de miembros posteriores.	Fase que indica aturdimiento correcto	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Fase clónica	Observada como movimiento voluntario de extremidades.	Seguido de la fase tónica / indica posible retorno a conciencia	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Respiración rítmica	Se registró como positiva cuando un bovino presentó respiración evidente.	Falla en aturdimiento / bovino consiente	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Arqueo de cabeza/columna	Se registró cuando al ser izado de la extremidad, el bovino movió la cabeza o columna (intento de incorporarse).	Falla en aturdimiento / bovino consiente	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)

	Sensibilidad al degüello	Se observó al momento de la inserción del cuchillo al cuello del bovino, cuando este presentó signos de sensibilidad (movimiento voluntario).	Falla en aturdimiento / tiempo excesivo aturdimiento-desangrado / animal sensible	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no (1/0)
	Tiempo entre aturdimiento/desangrado	Tiempo transcurrido desde el primer disparo hasta el inicio del degüello.	Falla en proceso / retorno a sensibilidad	Cuantitativa	Continua	De razón	35-191 s
	No. De disparos	Total de disparos con pistola de perno que recibió un bovino para declararse inconsciente.	Falla en proceso / animales sensibles	Cualitativa	Discreta	Nominal	1-3 disparos
	Encaste racial	Se asignó a uno de cuatro categorías de acuerdo con sus características morfológicas.	Factor de riesgo	Cualitativa	Discreta	Nominal	Pinto, cebú, europeo, cruza
<i>Revisión de cabezas</i>	No. De orificios	Total de orificios observados en el cráneo después del sacrificio.	Falla en proceso de aturdimiento / retorno a sensibilidad	Cualitativa	Discreta	De razón	1-3 orificios
	Profundidad del orificio	Medido con una barra de silicón graduada (cm, sólo enteros) introducida en el orificio producido por la pistola de perno.	Falla en proceso de aturdimiento / retorno a sensibilidad	Cuantitativa	Continua	De razón	0-14 cm
	Ángulo de entrada	Con la barra de silicón graduada, se registró la inclinación que siguió la trayectoria del perno (respecto a la frente).	Falla en proceso de aturdimiento / retorno a sensibilidad	Cualitativa	Discreta	Nominal	Perpendicular o diagonal
	Ubicación cardinal del orificio	Respecto al punto ideal de disparo se registró el sitio en donde se realizó el disparo.	Falla en proceso de aturdimiento / retorno a sensibilidad	Cualitativa	Discreta	Nominal	Noroeste, noreste, suroeste, sureste, norte, sur, oeste, este, centro y nuca
	Distancia al centro de referencia	Con una plantilla graduada en cm, se registró la distancia observada del orificio al centro del punto ideal de disparo.	Falla en proceso de aturdimiento / retorno a sensibilidad	Cuantitativa	Continua	De razón	1-6 cm
	Edad en meses	Dato registrado de rastro (basado en dentición).	Factor de riesgo	Cualitativa	Discreta	Ordinal	30 o <30 meses
	Broncoaspiración	Se observó como presencia de contenido ruminal en cabezas (presencia/ausencia).	Falla en proceso de aturdimiento / bovino consiente	Cualitativa	Discreta	Nominal	si/no
<i>Valoración de canales</i>	Color de la contusión	Se registró la escala de color observado en la canal.	Tiempo probable de la contusión	Cualitativa	Discreta	Nominal	Rojo oscuro, rojo brillante y amarillento.
	Numero de contusiones/canal	Se registró el total de contusiones observadas por canal.	Prevalencia	Cuantitativa	Continua	Ordinal	1-21
	Ubicación de la contusión/lado de la canal	Visualmente se dividió la canal en tres planos (derecho, centro y medio) y se registró la ubicación de cada contusión en cada plano.	Implicaciones de manejo <i>ante mortem</i> / infraestructura	Cuantitativa	Continua	Nominal	Derecha, Centro, izquierdo
	Forma de la contusión	Con base a criterios preestablecidos se describieron cuatro formas en que se presentaron las contusiones.	Implicaciones de manejo <i>ante mortem</i>	Cualitativa	Discreta	Nominal	Lineal, moteada, vías de tren, circular e irregular
	Tamaño de la contusión	Visualmente, se clasificaron las contusiones conforme a su tamaño.	Implicaciones de manejo <i>ante mortem</i>	Cualitativa	Discreta	Ordinal	Pequeña, mediana, grande
	Grado de severidad	Con base en la profundidad (grado 1; solo tejido subcutáneo, 2; incluye tejido muscular, 3; incluye además óseo).	Implicaciones de manejo <i>ante mortem</i>	Cualitativa	Discreta	Ordinal	Grado 1, grado 2 y grado 3
	Región anatómica afectada	Visualmente, se dividió la canal en 10 regiones anatómicas y se registró la ubicación de las contusiones.	Implicaciones de manejo <i>ante mortem</i>	Cualitativa	Discreta	Nominal	Dorso lumbar, sacra, dorso costal, pierna, hombro, caudal, costal, brazo, lateral abdomen, lateral cuello

Manuscrito correspondiente a una segunda etapa de muestreo en un rastro TIF de Culiacán en etapa de edición para envío a revista

VALORACIÓN DEL PROCESO DE SACRIFICIO DE BOVINOS MEDIANTE INDICADORES DE BIENESTAR ANIMAL Y CARACTERIZACIÓN DE CONTUSIONES

Jaime Noé Sánchez Pérez¹, Jesús José Portillo Loera¹, Juan Carlos Robles Estrada¹, Francisco Gerardo Ríos Rincón¹, Daniel Diaz Espinoza de los Montero², Armida Sánchez Escalante³, Briceida Jatzel Feliz Leyva¹, Karla Hildeliza Leyva Medina¹ y Horacio Dávila Ramos^{1*}

***Autor para correspondencia: Horacio Dávila Ramos**

Tel: +52-66-7476-9917, E-mail: davila-ramos@uas.edu.mx

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, 80246, México.

²Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 04510, México.

³Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal. Carretera a Ejido La Victoria km. 0.6. Hermosillo, Sonora, 83304, México.

Título del manuscrito: Valoración del proceso de sacrificio de bovinos mediante indicadores de bienestar animal y caracterización de contusiones.

RESUMEN

Objetivo: Se realizó un estudio observacional con el objetivo de evaluar las prácticas de manejo e indicadores de bienestar animal, eficacia del aturdimiento, factores de riesgo asociados y presencia de contusiones en canales. **Métodos:** 1168 bovinos fueron observados en las instalaciones de una planta de sacrificio de Tipo Inspección Federal en el noroeste de México. En el proceso de matanza se registraron variables de manejo y de comportamiento, además, indicadores de retorno a la sensibilidad y otros indicadores de bienestar animal y se caracterizaron las contusiones en la canal. **Resultados:** 10% de los bovinos recibieron descargas eléctricas con la picana, 24.2% fueron golpeados por los operarios y 2.96% vocalizaron previo al aturdimiento. Se observó arqueo de columna (44.4%); este fue mayor en bovinos < 30 meses ($p < 0.05$). El 62.2% de los bovinos presentaron sensibilidad al degüello; fue mayor en machos en ambos indicadores ($p < 0.05$). El aturdimiento efectivo redujo el porcentaje de arqueo de columna en 9.4%. La prevalencia de contusiones fue de 88.8%. Las hembras fueron 1.6 veces más propensas de presentar contusiones y la presencia de bovinos con cuernos grandes favoreció la presentación en 1.5 veces. Las contusiones de mayor presentación fueron de color rojo brillante (93.7%), moteadas (71.5%), pequeñas (82.9%) y de grado de severidad 1 (95.7%). La dorso lumbar fue el área anatómica más afectada por contusiones con el 58.3%. **Conclusión:** los indicadores sugieren condiciones de estrés en los bovinos. Es habitual el uso de instrumentos de arreo, y el aturdimiento no se realiza de manera efectiva. Por otra parte, la presentación de las contusiones en las canales refleja un manejo ante mortem inadecuado; los factores directamente asociados fueron el sexo de los bovinos y el tamaño de cuernos. La capacitación de los operarios, así como mejorar la infraestructura de los mataderos podría mejorar los índices de estrés en los bovinos.

Palabras clave: Matanza, Bienestar animal, Bovinos finalizados, Aturdimiento, Contusiones.

INTRODUCCIÓN

El traslado de los bovinos a las plantas de sacrificio propicia riesgo considerable para el bienestar animal, provoca estrés y compromete la calidad del producto final [1]. Además, la matanza de los bovinos es la última etapa crucial en lo referente a bienestar animal y debido al creciente interés de las personas por el bienestar de los animales y particularmente los que se destinan a consumo, las plantas de sacrificio han aplicado medidas que disminuyan el riesgo de estrés en los animales [2]. Las evaluaciones científicas de cómo funcionan estos centros de matanza han cobrado relevancia y cada vez más trabajos se enfocan en conocer la situación en cuanto a indicadores de bienestar de los animales de abasto cuando son sacrificados [3]. En México, insensibilizar a los bovinos antes del desangrado es obligatorio en los rastros de Tipo Inspección Federal y se realiza mediante la pistola de perno penetrante [4]; además es el método que más ampliamente se usa para aturdir, el objetivo de la insensibilización es lograr una pérdida profunda de la conciencia por medio de daño directo al tejido cerebral [5]; lo anterior haría más fácil el manejo e incluso disminuir efectos negativos en la calidad de la carne. Desde el enfoque del bienestar animal esto último se vuelve de suma importancia ya que iniciar un proceso de desangrado a un bovino sin antes haber sido correctamente insensibilizado implica un sufrimiento innecesario. Los manejos que se realizan durante el traslado de los bovinos, su estancia en corrales de espera y momentos antes de sacrificio pueden ser de riesgo y provocar que los animales sufran golpes [6].

Las contusiones indican falta de bienestar animal y pueden detectarse *post mortem* al inspeccionar las canales de manera visual, en estas es posible encontrar indicios de golpes sufridos en alguna de las etapas de manejo previas al sacrificio [7]. Una contusión es causada por un daño mecánico en el tejido y se observa como un área de la canal con ruptura de vasos sanguíneos que causa dolor e hinchazón, además una contusión tiene connotaciones sanitarias, de aceptabilidad del consumidor y cuando el daño es considerable causa decomiso del producto [8]. El registro y caracterización de las contusiones brinda información aproximada de

cómo y cuando se provocó el daño; esto se realiza por medio de su color, forma, tamaño y por el área anatómica donde se encuentre [9]. Dada la importancia de obtener información es necesario de cómo se realiza el manejo *ante mortem* de los bovinos, de la efectividad de la insensibilización y de la presencia de contusiones en las canales el objetivo de este estudio fue valorar las prácticas de manejo, indicadores de bienestar animal, eficacia del aturdimiento, caracterizar contusiones en las canales y determinar algunos factores de riesgo asociados a su presentación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo, lugar y periodo de estudio

El tipo de estudio fue observacional, prospectivo, transversal, descriptivo de asociación múltiple, este se realizó en un establecimiento Tipo Inspección Federal, ubicado en el noroeste de México (24° 38.4' 38.4" N; 107° 26' 40.0" O; 14 msnm). El clima de la región es semiseco, con temperatura media anual de 25.9°C, las temperaturas medias máximas son mayores a 36°C en los meses de mayo a julio y mínimas de 10.5°C en enero. Las lluvias se presentan en los meses de julio a septiembre y la precipitación media anual de 790 mm; BSh según la clasificación climática de Köppen [10]. El estudio se llevó a cabo durante el periodo de diciembre de 2017 a marzo de 2018; en este lapso se realizaron 10 visitas a la línea de producción donde se valoraron los indicadores de bienestar animal en 1168 y se caracterizaron las contusiones en 1167 canales bovinas. Para algunas etapas no se pudieron registrar algunas variables.

Descripción del proceso y obtención de las variables

La capacidad de matanza de la planta es de aproximadamente 40 bovinos por hora que resultan en 350 a 400 bovinos por jornada laboral. El proceso de matanza inicia cuando los bovinos ingresan a la antecámara de aturdimiento por una puerta de tipo guillotina, donde permanecen un breve lapso de tiempo en grupos de cuatro a cinco bovinos alineados uno detrás de otro; posteriormente, pasan por una segunda puerta tipo guillotina para acceder al cajón de aturdimiento, este último cuenta con una puerta de salida abatible de apertura horizontal y sus medidas son

y no cuenta con sujetador de cabeza. Una persona se encarga de dirigir a los bovinos de tal manera que no detengan su avance; auxiliado por el operario que realiza el aturdimiento. El aturdimiento se realiza con pistola neumática de perno penetrante (USSS-1 JARVIS® Jarvis Products Corporation; Middletown, CT, USA). Enseguida, el bovino se desliza por el piso al accionarse la puerta abatible, se coloca el gancho en el miembro posterior izquierdo y es izado, son desangrados, desollados y finalmente, en una secuencia de estaciones de trabajo, las canales obtenidas pasan a cuartos refrigerados.

En la antecámara de aturdimiento se registró el tamaño de cuernos (desprovisto, pequeño (<10 cm), mediano (10 a 15 cm) y grande (>15 cm), sexo, componente racial (cebuino, europeo y cruza). Además, se registraron las siguientes variables: uso de la picana eléctrica, torcedura de cola, golpes, vocalizaciones y pérdida del equilibrio. Al ingresar al cajón de aturdimiento se registraron golpes con la puerta tipo guillotina, liberación de aire comprimido de la pistola para atraer la atención del animal, bovinos prensados por la puerta abatible de apertura horizontal, intentos de retroceso dentro del cajón, cabeza agachada e intentos de escapar del cajón. Posteriormente, se valoró la efectividad del aturdimiento mediante signos de retorno a la sensibilidad que corresponden al reflejo ocular, fase tónica y clónica, respiración rítmica, arqueo de columna y sensibilidad al degüello y tiempo transcurrido entre el aturdimiento al degüello en segundos (0 a 30, 31 a 60 y >60 s).

En el área de inspección de cabezas se registró el número de orificios por cráneo, la precisión del disparo respecto al punto ideal (0 a 2, 2.1 a 5 y 5.1 a 8 cm) y su orientación respecto al punto ideal que se registraron con una plantilla transparente (Noreste, Sureste, Suroeste y Noroeste) [11]. La profundidad del orificio se midió con una barra de silicón graduada (0 a 3, 3.1 a 6, 6.1 a 9 y 9.1 a 12 cm), la trayectoria se evaluó de acuerdo con la dirección seguida por el perno respecto a la superficie ósea del cráneo como (perpendicular o diagonal). Se registraron los disparos en la nuca. Además, la presencia de contenido ruminal en tráquea y laringe y la edad en meses (30 o >30; basado en la cronología dentaria; la determinación la realizó un operario de la misma planta de matanza).

Valoración de las contusiones en las canales

Para la determinación de la prevalencia y características de las contusiones se observaron 1167 canales que se inspeccionaron para registrar y clasificar las contusiones en un formato diseñado específicamente para el fin; para tal propósito, la canal se dividió visualmente en 3 planos (derecho, centro e izquierdo), y a su vez cada media canal, en las siguientes regiones: 1) pierna, 2) sacra, 3) dorso lumbar, 4) dorso costal, 5) costal, 6) hombro, 7) brazo, 8) lateral del cuello, 9) lateral del abdomen y 10) caudal. La inspección se realizó de manera sistemática y en la línea de producción, inmediatamente antes de que las canales se dividieran por la columna vertebral; se inició por el plano derecho, seguido de la región dorso lumbar y finalizando por el plano izquierdo de la canal; trayectoria de anterior a posterior. Las contusiones se clasificaron por edad (color), forma, tamaño en cm, y grado de severidad. Por el color se categorizaron en rojo brillante (contusión reciente; 0 a 10 h), rojo oscuro (contusión reciente; 24 h) y amarillentas (antigua; >24 h). Por su forma, en moteadas, irregulares, lineales, circulares y en forma de vías de tren. Por su tamaño en pequeñas (2 a 8 cm), medianas (>8 a 16 cm) y grandes (>16 cm). La severidad de las contusiones se clasificó como grado 1 (afecta tejido subcutáneo y presenta hemorragia ligera), grado 2 (involucra tejido subcutáneo y muscular, y presenta hemorragia importante), grado 3 (afecta tejido óseo, se observa como fractura) y generalizadas que corresponden a canales con contusiones múltiples, difusas y de gran tamaño que no fue posible categorizarlas individualmente [12].

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las observaciones se codificaron en Excel, se filtraron para detectar errores en el registro o captura. En Minitab 16, se elaboraron cuadros con las frecuencias absolutas, frecuencias relativas expresadas en porcentaje e intervalos al 95% de confianza. Para determinar asociación entre las variables y los indicadores de bienestar animal se realizaron pruebas de Ji cuadrada con el procedimiento FREQ de SAS [13]. Con un nivel de significancia de 0.05.

Para estimar la prevalencia, un “caso” se definió como una canal que presentara al menos una contusión. La prevalencia se calculó como el número de

canales con contusiones/entre el total de canales observadas X 100 [14]. Para determinar los factores de riesgo en la presentación de contusiones en la canal, se realizó análisis de regresión logística multivariado con el procedimiento LOGISTIC de SAS [13] por el método *Backward Step by Step*, con la presencia o ausencia de una contusión como variable dependiente, para considerar que un factor se incluyó en el modelo de regresión se fijo un valor de alfa de 0.20. El modelo de regresión logística multivariado fue:

$$\pi(x) = \frac{e^{(\alpha + \sum \beta_i x_i)}}{1 + e^{(\alpha + \sum \beta_i x_i)}}$$

Donde: $\pi(x)$ es la probabilidad de un resultado positivo a una contusión, β_i son los valores de los coeficientes de regresión, X_i representa el vector de variables independientes [15].

RESULTADOS

Antecámara, cajón de aturdimiento y etapa post aturdimiento

En la Tabla 1 se describen las características de los bovinos según el tamaño de los cuernos, sexo, edad y componente racial. En la Tabla 2 se presentan las variables valoradas en la antecámara de aturdimiento. El 10% de los bovinos recibieron una descarga con la picana eléctrica. A su vez, el 24.2% recibieron al menos un golpe por parte de los operarios y en 0.94% se registró torsión de la cola. El 1.35% de los bovinos resbalaron una vez dentro de la antecámara y el 2.96% vocalizaron. En la Tabla 3 se observa que el 10.9% de los bovinos recibieron golpes con la puerta horizontal de guillotina al pasar de la antecámara al cajón de aturdimiento. En cuanto a su comportamiento dentro del cajón, se observó que el 15.5% esquivaron la pistola aturdidora agachando la cabeza, además, el 1.98% intentaron salir del cajón por la parte superior mediante saltos, por último, se registraron 16 bovinos (1.38%) que se atoraron en la puerta abatible al salir del cajón de aturdimiento. La Tabla 4 muestra los indicadores de retorno a la sensibilidad valorados una vez los bovinos salían del cajón de aturdimiento. Se observa que 5 bovinos (0.43%) presentaron movimiento ocular. Por otra parte, el 3.27% de los bovinos no presentaron fase tónica y en el 71.9% no se observó la fase clónica, el

44.4% presentaron arqueos de columna una vez izados en el riel y el 62.2% presentaron sensibilidad al degüello.

Valoración de precisión del disparo en cráneos

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la valoración a los cráneos de los bovinos. Para el tiempo entre el aturdimiento al degüello se observó que el 57.4% de los bovinos estuvieron en el rango de 31 a 60 s, mientras que el 45.3% sobrepasaron los 60 s. De acuerdo al número de orificios que presentaron los cráneos se observó que el 96.6% presentó un orificio; por otro lado 5 (0.4%) cráneos presentaron más de dos impactos. En la precisión del disparo se destaca un 82.3% de cráneos con impacto dentro del rango de 0 a 2 cm del blanco, así como un 0.5% en el extremo de 5.1 a 8 cm. En cuanto a la profundidad del mismo, ésta osciló del rango 3.1 a 6 cm hasta 9.1 a 12 cm (11.6 y 8.8%, respectivamente); se destaca un 79.6% (908 cráneos) que estuvieron en el rango de 6.1 a 9 cm. Para la trayectoria seguida por el perno penetrante a través del cerebro se observó que la mayor parte (64.5%) lo hizo perpendicular al hueso frontal del cráneo, contra un 35.5% que registró una diagonal. La orientación cardinal del orificio registrado se inclinó al Sureste y Suroeste (31.6 y 24.5%, respectivamente); se destacan 216 cráneos (18.2%) que presentaron el orificio en el punto ideal (Centro) y 24 cráneos (2.1%) lo presentaron en la nuca. Finalmente, el 14.6% de los cráneos mostraron evidencia de contenido ruminal en laringe.

En la Tabla 6 se presentan los indicadores de retorno a la sensibilidad por sexo, edad, tamaño de cuernos y tiempo entre aturdimiento al desangrado. El número de machos que presentaron sensibilidad al degüello superó al de hembras [479 (64.6%) vs 244 (58.0%); $p < 0.05$]. Así, también los machos superaron a las hembras en cuanto al arqueo de columna 47.7% y 38.5%, respectivamente ($p < 0.05$). En cuanto a la fase tónica también se observó diferencia estadística significativa ($p < 0.05$); sin embargo, al contrario de las últimas variables descritas, las hembras registraron una mayor presentación de dicha condición (31.6 vs 26.1%). La edad de los bovinos también fue condicionante para el arqueo de columna, en este caso los bovinos < 30 meses presentaron mayor porcentaje que los > 30 meses (45.5 vs 36.6%; $p < 0.05$) respectivamente. Para la variable fase

clónica ocurrió lo contrario; los bovinos >30 meses presentaron el mayor porcentaje en contraste a los de 30 meses (37.8 vs 26.3%; $p<0.05$). Por último, para los bovinos a los que el tiempo entre aturdimiento a desangrado superó los 60 s estos presentaron mayor porcentaje de arqueado de cabeza, en contraste a los 60 s (50.7% vs 39.0%; $p<0.05$).

En la Tabla 7 se presentan las variables de precisión del disparo comparadas con los indicadores de retorno a la sensibilidad. Para la variable precisión y para trayectoria del disparo no se presentaron diferencias estadísticas; sin embargo, el tiempo >60 s fue factor para que se presentaran arqueado de columna (50.6 vs 39.4%; $p<0.05$). El aturdimiento efectivo provocó que menos bovinos presentaran arqueado de columna (37.6 vs 47.0%; $p<0.05$).

Contusiones en las canales

La prevalencia de contusiones fue de 88.8% (IC95%= 86.8 a 90.5, Tabla 8). Las canales provenientes de hembras presentaron mayor porcentaje de contusiones que los machos ($p<0.05$). Además, se observó que animales que presentaron cuernos grandes (>15 cm), sus canales tuvieron más contusiones comparado con los bovinos con cuernos pequeños (<10 cm; $p<0.05$). El sexo fue factor de riesgo para la presentación de contusiones (Tabla 9); las hembras fueron 1.6 veces más susceptibles que los machos ($p<0.05$). Un segundo factor de riesgo para la presentación de contusiones fue el tamaño de los cuernos, ya que los bovinos con cuernos grandes tuvieron un riesgo 1.5 veces mayor que los bovinos con cuernos pequeños ($p<0.05$). De las 1036 canales con contusión y descartando las generalizadas, es decir 1024 canales, 530 (45.9%) presentaron de 1 a 3 contusiones, 313 (27.1%) de 4 a 6, 124 (10.7%) de 7 a 9, 37 (3.2%) de 10 a 12 y 18 (1.6%) de 13 a 21.

En la Tabla 10 se muestra la distribución de las contusiones por planos anatómicos, el lado derecho de las canales presentó el mayor porcentaje de contusiones (72.9%), seguido del centro (dorso) (62.0%) y finalmente el izquierdo con 58.5%, ($p<0.05$). En el plano derecho de la canal se observaron 575 canales que presentaron de 1 a 3 contusiones y al plano izquierdo cuatro canales presentaron de 13 a 21 contusiones.

En la Tabla 11 se muestran las características de contusiones en las canales. Respecto al color que presentaron las contusiones, destaca el rojo brillante con 960 canales que presentaron la característica señalada (93.7%); de estas canales la mayor cantidad (575) presentaron de 1 a 3 contusiones de color rojo brillante, además catorce canales presentaron más de 13 contusiones de color rojo brillante. En segundo sitio se muestran las contusiones de color rojo oscuro (29.8%); para esta característica de contusión se observaron 273 canales con 1 a 3 contusiones y finalmente 54 canales presentaron contusiones de color amarillento. En cuanto a la forma, prevalecieron las canales con contusiones moteadas (71.5%); adicionalmente, 583 canales presentaron de 1 a 3 contusiones y únicamente en 2 canales se contabilizaron más de 13 contusiones moteadas. En segundo lugar, lo ocuparon las contusiones circulares (56.5%), seguido de las irregulares (29.9%), lineales (4.0%) y, por último, un 1.8% en forma de vías de tren, esta última destaca por presentar canales solamente con 1 a 3 contusiones. Las contusiones pequeñas se observaron en 849 canales (82.9%); estas se distribuyeron en 577 canales con 1 a 3 contusiones y al otro extremo 7 canales con más de 13 contusiones. El 51.6% de las canales presentaron contusiones medianas y el 26.5% grandes; el número de canales con 1 a 3 contusiones fue de 487 y 264 para medianas y grandes respectivamente. En cuanto al grado de severidad de las contusiones observadas, en mayoría se destacan las de grado 1 con 980 canales (95.7%); de estas, 553 canales presentaron de 1 a 3 contusiones y un total de 18 canales con más de 13 contusiones. Las contusiones de grado 2 se presentaron en 233 (22.7%) canales; de estas, 220 canales presentaron de 1 a 3 contusiones, en adición, se aprecia que el rango mayor fue de 7 a 9 contusiones por canal, en este caso solo una canal presentó tal número. Es de destacar que sólo una canal presentó contusión de grado 3, en este caso se observó fractura de cola. Por último, se presentan las canales que tuvieron contusiones generalizadas, en total 12 (1.1%) canales.

En la Tabla 12 se presentan en forma decreciente los resultados en cuanto al área anatómica afectada por contusiones, así como el grado y número de contusiones por canal. El 58.3% de las canales presentaron contusiones en el área dorso lumbar; corresponde al área anatómica con mayor porcentaje. Respecto a la

distribución por grado de severidad, el grado 1 presentó un 93.2%, seguido de contusiones de grado 2 (6.8%), de acuerdo con número de contusiones, se registraron 1106 contusiones en el área anteriormente referida que corresponde a un 26.4%, también, cabe mencionar que el 95.5% corresponden a contusiones de grado 1 y el resto (4.5%) de grado 2. Le siguen el área sacra con 52.8% de canales con contusiones y en tercer lugar al dorso costal con 45.5%.

DISCUSIÓN

La valoración de los indicadores de bienestar, de comportamiento animal y de manejo se presentó de manera separada (Tabla 1 y 2), sin embargo, por ser estaciones que son inmediatas se considerarán las variables a discusión en conjunto. El manejo de los bovinos al ingresar a la antecámara y posteriormente al cajón de aturdimiento generalmente lo realiza un mismo operario que se encarga de arrear a los bovinos; el operario aturridor también apoya en las labores de acomodo y arreo de los bovinos. En el presente estudio se observaron bovinos que recibieron descarga eléctrica con la picana y además vocalizaron; Grandin [16], hace referencia a que un bovino que permanece solitario en el cajón de aturdimiento tiende a vocalizar. Miranda-de la Lama et al [2] registraron un 10% de bovinos que vocalizaron en el cajón de aturdimiento, porcentaje superior al observado en el presente trabajo, además observaron que un 67% de los bovinos recibieron descarga eléctrica con la picana; al respecto los autores mencionan que este último instrumento fue el único utilizado durante sus observaciones, al contrario de lo registrado en el presente estudio que también usaron tubos para movilizar a los bovinos. Otros factores negativos que se observaron, como los golpes por la puerta de guillotina, torsión de la cola y golpes con diferentes objetos se podrían relacionar con falta aptitud y capacitación de los operarios para el manejo de los bovinos, otros como esquivar la pistola aturridora e intentar salir del cajón por medio de saltos podría ser por la falta de equipo de sujeción de cabeza.

En el presente estudio se registraron bovinos con movimientos oculares inmediatamente después de recibir el disparo con la pistola de perno penetrante, resultados similares a los observados por Miranda-de la Lama et al [2], sin embargo,

este no se superó el 1%. En otro aspecto, Oliveira et al [5] registraron bovinos con fase clónica de un 14 a 20% (justo antes de ser izados al al riel). La HSA [11] indica que un aturdimiento efectivo implica el colapso inmediato, presentación de una actividad tónica (fase tónica) exagerada seguida de relajación y movimientos involuntarios de patada (fase clónica) y no deben de presentarse respiración rítmica, ni movimientos oculares, además de mandíbula y lengua relajadas. También indica que el desangrado debe de realizarse durante la fase tónica (este periodo dura de 10 a 20 s después del aturdimiento). En la normativa mexicana [4], se estipula que el ganado debe ser desangrado dentro de los primeros 20 s después del aturdimiento y no sobrepasar los 60 s. Sin embargo, en los resultados del presente trabajo más de la mitad de los bovinos fueron desangrados entre 31 a 60 s y el resto en tiempo mayor a un minuto. En el presente estudio el 82% de los bovinos presentaron el disparo a una distancia de 2 cm o menos del punto ideal, mientras que los mismos autores observaron un menor porcentaje (77.3%). En cuanto a la localización del orificio en los cráneos, se observó una precisión baja respecto a los observados por Atkinson, Velarde and Algiers [17] quienes reportaron 92% de disparos en el punto ideal; los autores mencionan al respecto que si la pistola de perno penetrante no es puesta completamente perpendicular a la cabeza al momento del disparo el impacto puede reducir la fuerza y profundidad del impacto, lo que contribuye a reducir el efecto del aturdimiento. En relación a la detección de cráneos con contenido ruminal en la tráquea en este estudio, Ríos-Rincón et al [18] concluyen que, un aturdimiento no efectivo favorece la expulsión de contenido ruminal y una posterior bronco aspiración durante el intervalo entre aturdimiento y desangrado y que contenido ruminal contamina cabezas, canales y pulmones.

El sexo de los bovinos tuvo relación con la presentación de algunos signos de retorno a la sensibilidad, los machos presentaron más sensibilidad al degüello y arqueado de columna que las hembras, además, los machos presentaron en menor proporción la fase tónica, estos factores podrían estar asociados, como lo menciona Atkinson, Velarde and Algiers [17], que toros viejos tienden a tener masas óseas más gruesas, incrementando la resistencia a la fuerza cinética liberada por el perno. Lo anterior además explica el hecho de que los bovinos con edad 30 meses

presentaran un mayor porcentaje de animales con fase clónica, variable relacionada con un aturdimiento efectivo. En tiempo entre aturdimiento y desangrado >60 s provocó un incremento en el porcentaje de bovinos que arquearon la columna, lo anterior pudo deberse a que pasado este lapso de tiempo los bovinos tienden a recobrar algo de sensibilidad o en el caso de no estar correctamente aturdidos este indicador se manifiesta en mayor grado [2]; además era de esperarse que animales que recibieron un aturdimiento correcto en cuanto a la distancia 2 cm del punto ideal, con trayectoria perpendicular y un tiempo 60 segundos entre el aturdimiento al degüello se redujeran los signos de sensibilidad, sin embargo, la reducción solo tubo diferencia significativa en una variable, posiblemente debido a la falta de un sujetador de cabeza como principal factor ya que el animal esté sujeto e inmóvil repercute de manera significativa en la mejora de los indicadores de inconsciencia de los bovinos.

La prevalencia de contusiones encontradas en los bovinos incluidos en este estudio es menor al 92% reportado por Miranda-de la Lama et al [2] en México. Otros resultados similares fueron observados en Chile por Romero et al [19] quienes obtuvieron una prevalencia de 84.3% de canales con contusiones y sugieren que en la presentación general de contusiones y la diferencia entre estudios influyen factores como el temperamento de los animales debido a la raza, sexo, edad al sacrificio, así como también, diferentes sistemas de evaluación, diferencias en el tipo de establecimiento de producción y el manejo pre-sacrificio. En este estudio se observó dependencia de la presentación de contusiones por el sexo y el tamaño de los cuernos, además estos fueron factores de riesgo significativos. Mendonça et al [3] obtuvieron resultados similares; en su trabajo las hembras presentaron un 91% más contusiones en las canales comparado con los machos y estas tuvieron 42% más probabilidades de presentar una contusión; en otro estudio que coincide con el presente trabajo Hoffman and Lühl [6] reportaron que las hembras tuvieron una diferencia significativa mayor en cuanto al número de contusiones comparadas con los machos; incluso las vacas resultaron ser más propensas que las vaquillas lo que sugiere que existen más factores involucrados en la presentación de contusiones. Según Adzitey [20], la diferencia entre sexos a presentar contusiones se relaciona

con la susceptibilidad de las hembras a ser más reactivas a estímulos estresantes, además de factores como grosor de la piel y cobertura grasa, y diferencia en edad al sacrificio podrían afectar tanto la probabilidad de contusiones, así como su apreciación en las canales. Respecto a los animales con cuernos grandes y que tuvieron más contusiones Huertas et al [21] observaron una correlación positiva entre la presencia de al menos un bovino con cuernos en el camión de traslado y la ocurrencia de contusiones en la canal, sin embargo, mencionan que cortar los cuernos a los bovinos no sería una solución al problema de contusiones. Wythes et al, [22] por su parte reportaron diferencia significativa entre bovinos sin cuernos los cuales tuvieron más contusiones al compararlos con animales con cuernos recortados en ensayos donde los grupos se encontraban separados, a diferencia de las características del presente estudio en donde estos se transportaron juntos. En un estudio realizado por Youngers et al [23] el cual no coincide con los observados en el presente estudio ya que estos no encontraron relación significativa entre la prevalencia de ganado con cuernos en los lotes y la prevalencia de contusiones en los mismos lotes de bovinos trasladados al matadero. Los autores mencionan que, dada la localización de las contusiones en las canales, principalmente en la línea media de la cavidad torácica, los hematomas tendrían otra fuente y no fueron causadas por golpes con los cuernos; lo anterior tiene semejanzas con los hallazgos en este estudio ya que en el área dorso lumbar se encontraron la mayor cantidad de contusiones, por lo tanto, podría haber otros factores que estén implicados en su presentación. En este estudio se obtuvo un rango superior a los autores anteriormente citados hasta 21 contusiones por canal y a diferencias de los rangos mayores observados por ellos de 6 a 8, en nuestro estudio correspondió de 4 a 6 contusiones por canal. Además, en contraste a los hallazgos que realizaron Huertas et al [21] quienes observaron que el 74.1% de las canales presentaron de 1 a 3 contusiones, los encontrados en el presente estudio llegaron a 27.1%; en adición, los investigadores reportan un 60% de canales con al menos una contusión. Respecto a la localización por planos anatómicos de las contusiones en las canales, los resultados obtenidos en el presente estudio difieren de lo reportado por Lee et al [24] quienes observaron que el lado de la canal con más contusiones fue la línea

media dorsal, seguido del izquierdo y finalmente el derecho. Los resultados obtenidos en este trabajo pudieran deberse a la posición en que el operario tiene acceso a los bovinos al momento de movilizarlo desde los corrales de espera al cajón de aturdimiento que coincide con el lado derecho de los bovinos. En el presente estudio se observaron más contusiones de color rojo brillante, lo que sugiere que estas se produjeron en un tiempo corto antes del sacrificio, ello es consistente con el hecho de ser el lado derecho de la canal el más contundido; sugiere lo anterior que los golpes fueron provocados en la línea de arreo entre los corrales de espera y el cajón de aturdimiento. Los resultados son similares a los observados por Mpakama et al [25] quienes en su trabajo observaron que la mayoría de las contusiones fueron recientes (rojo brillante), observando incluso diferencias entre raza y edad de los bovinos en cuanto a la edad de las contusiones. Para llevar a cabo la determinación pueden tomarse como referencia tres colores: rojo brillante como una contusión reciente de 0 a 10 h, rojo oscuro que corresponde a una contusión de aproximadamente 24 horas y amarillenta una contusión más antigua (3 días) [26]. Frimpong et al [27], encontraron que un 82% de las canales observadas presentaron contusiones, de estas un 60.6% fueron categorizadas como ligeras y un 21.6% severas; esto correspondería a contusiones grado 1 y 2 respectivamente de acuerdo con el sistema que se utilizó en este estudio para categorizar las contusiones por grado de severidad. Strappini et al [12] observaron un 92.2% de canales con contusiones, al igual que en el presente trabajo además registraron mayor cantidad de contusiones superficiales de grado 1, por tamaño los autores reportaron que las pequeñas resultaron en mayor cantidad. Estos mismos autores observaron que los sitios anatómicos con más contusiones se encontraron en la tuberosidad coxal en primer lugar, seguido por lo que corresponde a la línea dorsal media, sus resultados son similares a los observados en el presente estudio, ya que el área dorso lumbar fue de los sitios más afectados. Las contusiones en las canales causan pérdidas económicas, además preocupación por el bienestar animal a los productores y empacadores y tomando en cuenta las áreas anatómicas más afectadas estas pérdidas se exacerban ya que estas corresponden a las de mayor valor comercial [24].

En conclusión, los indicadores muestran que los bovinos incluidos en este estudio presentaron condiciones que repercuten negativamente en su bienestar. La utilización de objetos para el manejo, uso de picana y golpes con las puertas de tipo guillotina son circunstancias que se presentaron en alto grado. Además, la evidencia obtenida sugiere que el aturdimiento no es efectivo. En otro aspecto, la prevalencia del 88.8 % de contusiones en las canales revela que no se dieron las condiciones adecuadas para los bovinos durante el manejo pre-sacrificio; también sus características reflejan que los bovinos fueron manejados de forma incorrecta en la planta de matanza. Lo anterior podría mejorarse por medio de la capacitación y auditorías regulares a los centros de matanza y dirigir esfuerzos a que los protocolos de bienestar animal se apliquen correctamente.

REFERENCIAS

1. Ferguson DM, & Warner RD. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science* 2008;80:1 12-19.
2. Miranda-de la Lama GC, 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. *Trop Anim Health Prod* 2012;44:497-504.
3. *Mendonça* FS, Vaz RZ, Cardoso FF, Restle J, Vaz FN, Pascoal LL, Reimann FA, Boligon AA. Pre-slaughtering factors related to bruises on cattle carcasses. *Anim Produc Sci* 2018;58:385-392.
4. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres [Internet]. 2014. [Citado 2019 marzo 13]. Disponible de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133499/4._NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-033-SAG-ZOO-2014.pdf
5. Oliveira SEO, Gregory NG, Dalla Costa FA, Gibson TJ, Dalla Costa OA, Parahnos da Costa MJR. Effectiveness of pneumatically powered penetrating and non-penetrating captive bolts in stunning cattle. *Meat Sci.* 2018;140:9-13.
6. Hoffman LC, Lühl J. Causes of cattle bruising during handling and transport in Namibia. *Meat Sci* 2012;92:115-124.
7. Mccausland IP, Dougherty R. Histological ageing of bruises in lambs and calves. *Australian Veterinary Journal* 1978;54:525-527.
8. Strappini AC, Frankena K, Metz JHM, Gallo C, Kemp B. Prevalence and risk factors for bruises in Chilean bovine carcasses. *Meat Sci* 2010;86:859-864.
9. Strappini AC, Metz JH, Gallo C, & Kemp B. Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal* 2009;3:728-736.
10. García ME. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México, DF; 1981.
11. HSA, Humane Slaughter Association (2016). Humane killing of livestock using firearms. Wheathampstead-UK: Humane Slaughter Association.
12. Strappini AC, Frankena K, Metz JHM, Gallo C, Kemp B. Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. *Animal* 2012;6:1-8.
13. Statistical Analysis System Institute. 2002 (SAS). Versión 9.0. USA.
14. Jaramillo ACJ, Martínez MJJ. Epidemiología veterinaria. 1a ed. México. El Manual Moderno; 2010.
15. Agresti, A. Categorical Data Analysis. 2 th ed. EUA Wiley Interscience; 2002.

16. Grandin T. Livestock handling and transport. 3 th ed. UK CAB international; 2007.
17. Atkinson S, Velarde A, Algers B. Assesment of stun quality at commercial slaughter in cattle shot with captive bolt. *Animal Welfare* 2013;22:473-481.
18. Ríos-Rincón FG, Estrada-Angulo A, Hernández-Bautista J, Pérez-Linares C, Portillo-Loera JJ, Robles-Estrada JC. Post stunning factors that influence emesis in cattle. *Rev Mex Cienc Pecu* 2012;3:343-356.
19. Romero MH, Gutiérrez C, Sánchez JA. Evaluation of bruises as an animal welfare indicator during pre-slaughter of beef cattle. *Rev Col Cienc Pecu* 2012;25:267-275.
20. Adzitey F. Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality. *International Food Research Journal* 2011;18:485-491.
21. Huertas SM, Gil AD, Piaggio JM, van Eerdenburg FMJCM. Transporting of beef cattle to slaughterhouses and how this relates to animal welfare and carcasse bruising in an extensive production system. *Animal welfare* 2010;19:281-285.
22. Wythes J, Horder J, Lapworth J, Cheffins R. Effect of tipped horns on cattle bruising. *Veterinary Record* 1979;104:390-392.
23. Youngers ME, Thomson DU, Schwandt EF, Simroth JC, Bartle SJ, Siemens MG, Reinhardt CD. Case study: prevalence of horns and bruising in feedlot cattle at slaughter. *The professional Animal Scientist* 2017;33:135-139.
24. Lee TL, Reinhardt CD, Bartle SJ, Vahl CI, Siemens M, Thomson DU. Assessment of risk factors contributing to carcass bruising in fed cattle at commercial slaughter facilities. *Transnational Animal Science* 2017;1:489-497.
25. Mpakama T, Chulayo AY, Muchenje V. Bruising in slaughter cattle and its relationship with creatine kinase levels and beef quality as affected by animal related factors. *Asian Australas J Anim Sci* 2014;27:717-725.
26. Gracey JF, Collins DS, Huey RJ. Meat hygiene. 10 th ed. United Kingdom. Elsevier health science publishers; 1999.
27. Frimpong S, Gebresenbet G, Bobobee E, Aklaku ED, Hamdu I. Effect of transportation and pre-slaughter handling on welfare and meat quality of cattle: case study of Kumasi abattoir, Ghana. *Vet Sci* 2014;1:174-1.

Tabla 1. Características de los bovinos según el tamaño de los cuernos, sexo, edad y componente racial.

	Frecuencia	%
Tamaño de cuernos (cm)	n=1161	
Desprovisto	51	4.39
Pequeños (<10)	588	50.65
Medianos (10 a 15)	402	34.63
Grandes (>15)	120	10.34
Sexo	n=1161	
Hembra	420	36.18
Macho	741	63.82
Edad (meses)	n=1090	
<30	929	85.23
30	161	14.77
Componente racial	n=782	
Cebuino	66	8.44
Europeo	88	11.25
Cruza	628	80.31

Tabla 2. Variables registradas en antecámara de aturdimiento.

Variable	Si (%)	IC95% ¹	No (%)	IC95% ¹
Uso de picana	37 (9.97)	7.1 a 13.4	334 (90.0)	86.5 a 92.8
Golpe por operario	90 (24.3)	19.9 a 28.6	281 (75.7)	71.0 a 80.0
Torcedura de cola	2 (0.94)	0.07 a 1.9	369 (99.5)	98.0 a 99.9
Pérdida del equilibrio	5 (1.35)	0.04 a 3.0	366 (98.7)	96.8 a 99.5
Vocalizaciones	11 (2.96)	1.4 a 5.2	360 (97.0)	94.7 a 98.5

n=371; ¹intervalo de confianza al 95%.

Tabla 3. Variables observadas en cajón de aturdimiento.

Variable	Si (%)	IC95% ¹	No (%)	IC95% ¹
Golpe con puerta	127 (10.94)	9.2 a 12.8	1034 (89.06)	87.1 a 90.8
Aire con pistola	479 (41.26)	38.4 a 44.1	682 (58.74)	55.8 a 61.5
Atorado al salir de cajón	16 (1.38)	0.7 a 2.2	1145 (98.62)	97.7 a 99.2
Intento de retroceso	358 (30.84)	28.1 a 33.5	803 (69.16)	66.4 a 71.8
Cabeza agachada	180 (15.50)	13.4 a 17.7	981 (84.50)	82.2 a 86.5
Intento de escape	23 (1.98)	1.2 a 2.9	1138 (98.02)	97.0 a 98.7

n=1161; ¹intervalo de confianza al 95%.

Tabla 4. Indicadores de retorno a la sensibilidad valorados en los bovinos al salir del cajón de aturdimiento.

Variable	Si (%)	IC95% ¹	No (%)	IC95% ¹
Reflejo ocular	5 (0.43)	0.1 a 1	1156 (99.57)	99.0 a 99.8
Fase tónica	1123 (96.73)	95.5 a 97.6	38 (3.27)	2.33 a 4.4
Fase clónica	327 (28.17)	25.5 a 30.8	834 (71.83)	69.1 a 74.4
Respiración rítmica	10 (0.86)	0.4 a 1.5	1151 (99.14)	98.4 a 99.5
Arqueo de columna	516 (44.44)	41.5 a 47.3	645 (55.56)	52.6 a 58.4
Sensibilidad al degüello	723 (62.27)	59.4 a 65	438 (37.73)	34.9 a 40.5

n=1161; ¹intervalo de confianza al 95%.

Tabla 5. Variables evaluadas en las cabezas de los bovinos, indicadores de aturdimiento efectivo.

Variable		Frecuencia	%
Intervalo aturdimiento al desangrado (s) n=1143	0 a 30	0	0
	31 a 60	625	54.7
	>60	518	45.3
Número de disparos n=1159	1	1119	96.6
	2	35	3.0
	3	5	0.4
Precisión del disparo (cm) n=1140	0 a 2	938	82.3
	2.1 a 5	196	17.2
	5.1 a 8	6	0.5
Profundidad del disparo (cm) n=1140	0 a 3	0	0
	3.1 a 6	132	11.6
	6.1 a 9	908	79.6
	9.1 a 12	100	8.8
Trayectoria del disparo n=1148	Perpendicular	740	64.5
	Diagonal	408	35.5
Orientación cardinal del disparo n= 1157	Centro	216	18.7
	Nuca	24	2.1
	Noreste	124	10.6
	Noroeste	138	11.8
	Sureste	369	31.6
	Suroeste	286	24.5
Presencia de contenido ruminal, n=1168		170	14.6

Tabla 6. Indicadores de retorno a la sensibilidad por sexo, edad, tamaño de cuernos y tiempo entre aturdimiento a degüello.

		Sensibilidad al degüello				Arqueo de columna			Fase clónica			Fase tónica		
		Total	Si	%	P	Si	%	P	Si	%	P	Si	%	P
Sexo	Hembra	420	244	58.0	0.027	162	38.5	0.002	133	31.6	0.045	406	96.6	0.930
	Macho	741	479	64.6		354	47.7		194	26.1		717	96.7	
Edad (meses)	>30	161	98	60.8	0.764	59	36.6	0.036	61	37.8	0.002	157	97.5	0.529
	30	929	577	62.1		423	45.5		245	26.3		897	96.5	
Tamaño de cuernos (cm)	Pequeños 10 cm	639	398	62.2	0.973	296	46.3	0.143	183	28.6	0.653	614	96.0	0.177
	Grandes >10	521	324	62.1		219	42.0		143	27.4		508	97.5	
Intervalo aturdimiento-degüello (s)	>60	518	334	64.4	0.182	263	50.7	<0.0001	150	28.9	0.471	500	96.5	0.679
	60	625	379	60.6		244	39.0		169	27.0		606	96.9	

Tabla 7. Indicadores de retorno a la sensibilidad, en relación con el aturdimiento efectivo.

n=1126		Sensibilidad al degüello				Arqueo de columna			Fase clónica			Fase tónica		
		Total	Si	%	P	Si	%	P	Si	%	P	Si	%	P
Precisión (cm)	2	925	579	62.5	0.52	414	44.7	0.90	254	27.4	0.79	893	95.5	0.48
	>2	201	121	60.1		89	44.2		57	28.3		196	97.5	
Trayectoria	Perpendicular	726	444	61.1	0.34	326	44.9	0.83	203	27.9	0.72	702	96.6	0.95
	Diagonal	400	256	64.0		177	44.2		108	27.0		387	96.7	
Intervalo aturdimiento-degüello(s)	>60	503	323	64.2	0.21	255	50.6	0.0002	146	29.0	0.27	485	96.4	0.56
	60	606	367	60.5		239	39.4		158	26.0		588	97.0	
Aturdimiento*	Efectivo	292	181	61.9	0.92	110	37.6	0.005	73	25.0	0.28	283	96.9	0.85
	Inefectivo	817	509	62.3		384	47.0		231	28.2		790	96.7	

*Se estimó de acuerdo a precisión 2 cm, trayectoria perpendicular y un tiempo 60 segundos; cuando un bovino no cumplió con las tres categorías se incluyó dentro de los que tuvieron un aturdimiento inefectivo.

Tabla 8. Prevalencia de contusiones y variables asociadas a su presentación.

		Total	Canales con contusión	%	P
Sexo	N	1167	1036	88.8 (86.8 a 90.5) ¹	0.019
	Hembra	420	385	91.66	
	Macho	741	645	87.04	
	Total	1161			
Edad (meses)	>30	161	150	93.16	0.066
	30	929	820	88.26	
	Total	1090			
Tamaño de cuernos (cm)	Pequeños 10	639	556	87.01	0.049
	Grandes >10	522	474	90.80	
	Total	1161			

¹IC95%

Tabla 9. Resultados de la regresión logística multivariada para la variable sexo y tamaño de cuernos.

Variable	Parámetro	OR	IC95%	P
Intercepto	-2.2084			<0.0001
Sexo	0.2370	1.606	1.061 a 2.433	0.0252
Tamaño de cuernos	0.2293	1.582	1.064 a 2.352	0.0235

OR: razón de disparidad. IC: intervalo de confianza al 95%. P: valor de probabilidad.

Tabla 10. Distribución de las contusiones en las canales por planos anatómicos.

Plano de la canal	Canales sin contusión	Contusas (%)	P	Número de contusiones por canal				
				1 a 3	4 a 6	7 a 9	10 a 12	13 a 21
Derecho	277	747 (72.9) ^b		575	139	18	11	4
Centro	389	635 (62.0) ^a	<0.001	583	52	0	0	0
Izquierdo	425	599 (58.5) ^a		552	45	2	0	0

Tabla 11. Caracterización de contusiones en las canales bovinas.

Variable	Sin contusión	Con contusión (%)	Número de contusiones por canal					
			1 a 3	4 a 6	7 a 9	10 a 12	13 a 21	
Color								
Rojo brillante	64	960 (93.7)	575	250	88	33	14	
Rojo oscuro	718	306 (29.8)	273	27	6	0	0	
Amarillento	970	54 (5.2)	54	0	0	0	0	
Forma								
Moteada	291	733 (71.5)	583	117	25	6	2	
Irregular	717	307 (29.9)	291	12	3	0	1	
Lineal	983	41 (4.0)	40	1	0	0	0	
Circular	445	579 (56.5)	392	144	30	10	3	
Vías de tren	1005	19 (1.8)	19	0	0	0	0	
Tamaño (cm)								
Pequeña (2 a 8)	175	849 (82.9)	557	199	67	19	7	
Mediana (>8 y 16)	495	529 (51.6)	484	41	4	0	0	
Grande (>16)	752	272 (26.5)	264	8	0	0	0	
Grado de severidad								
1	44	980 (95.7)	553	283	101	25	18	
2	791	233 (22.7)	220	12	1	0	0	
3	1023	1 (0.1)						
Generalizada	1024	12 (1.1)						

Cuadro 12. Distribución de las contusiones en las canales bovinas por región anatómica.

Área anatómica	Canales contusas, n (%)	Grado 1 (%)	Grado 2 (%)	No. de contusiones (%)	Grado 1 (%)	Grado 2 (%)
Dorso lumbar	604 (58.3)	563 (93.2)	41 (6.8)	1106 (26.4)	1056 (95.5)	50 (4.5)
Sacra	547 (52.8)	500 (91.4)	47 (8.6)	1053 (25.1)	997 (94.7)	56 (5.3)
Dorso costal	467 (45.1)	432 (92.5)	35 (7.5)	736 (17.6)	697 (94.7)	39 (5.3)
Pierna	331 (31.9)	259 (78.3)	72 (21.7)	450 (10.7)	367 (81.6)	83 (18.4)
Hombro	285 (27.5)	245 (85.9)	40 (14.0)	367 (8.8)	319 (86.9)	48 (13.1)
Caudal	133 (12.8)	120 (90.2)	13 (9.8)	215 (5.1)	201 (93.5)	14 (6.5)
Costal	102 (9.9)	84 (82.4)	18 (17.7)	126 (3.0)	106 (84.1)	20 (15.9)
Brazo	82 (7.9)	61 (74.4)	21 (25.6)	90 (2.1)	69 (76.7)	21 (23.3)
Lateral del abdomen	38 (3.7)	24 (63.2)	14 (36.8)	42 (1.0)	28 (66.7)	14 (33.3)
Lateral del cuello	3 (0.3)	3 (100)	0	3 (0.1)	3 (100)	0