



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL**

**LAS LESIONES DE PEZUÑAS COMO INDICADORES POSTMORTEM DE
BIENESTAR BOVINO: PREVALENCIA, SENSIBILIDAD Y FACTORES DE
RIESGO ASOCIADOS**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

MICHELLE BAUTISTA FERNÁNDEZ

TUTOR PRINCIPAL: GENARO CVABODNI MIRANDA DE LA LAMA.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, CAMPUS LERMA.

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

RUBEN DANILO MÉNDEZ MEDINA.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, UNAM

PATRICIA MORA MEDINA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA CDMX, FEBRERO, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

COMITÉ TUTORAL

Dr. Genaro Cvabodni Miranda-De La Lama

Profesor Investigador Titular C

Línea de Investigación: Etología aplicada, bienestar animal y calidad de la carne

Departamento de Ciencias de la Alimentación

Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Lerma

Estado de México

Dr. Rubén Danilo Méndez Medina

Profesor Investigador Titular C

Línea de investigación: Bienestar animal y calidad de la carne

Departamento de Patología

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México

Dra. Patricia Mora Medina

Profesora Investigadora Titular C

Línea de investigación: Bienestar animal e inocuidad de los productos de origen animal

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Universidad Nacional Autónoma de México

Estado de México

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer a la UNAM y a la FMVZ por permitirme profundizar en mi formación académica rodeándome de académicos, colegas, trabajadores y compañeros en general que me permitieron concluir esta etapa, estaré eternamente orgulloso y agradecido de haberme formado como Maestro en las Aulas de la UNAM.

A mi tutor de maestría el Dr. Genaro Miranda de la Lama, quién además de ser un excelente investigador y académico se convirtió en un gran amigo. A usted le agradezco infinitamente el haber tenido la paciencia de compartirme sus conocimientos, experiencias y por su incondicional apoyo, las observaciones y por tantas lecciones de vida, ¡muchas gracias!

A mi Comité tutor: Dr. Rubén Danilo Méndez y Dra. Patricia Mora Medina. Por haber sido estrictos desde el inicio, les agradezco mucho sus comentarios y observaciones.

A Paola Mares, Rubén Valenzuela, Javier Valenzuela y “De Campo Libre” porque creyeron en nuestro proyecto, nos acompañaron y respaldaron en la investigación, por su tiempo, confianza y atenciones les agradezco mucho.

Al Rastro TIF N°546, MVZ Morales, MVZ Mario, MVZ Yael, MVZ Rosa, MVZ Alejandra y a todo el personal operario, les agradezco la confianza, su hospitalidad y su cooperación.

A la Universidad de Zaragoza (España), a todo el Grupo de Investigación en Calidad de la Carne y Bienestar Animal, a todas las brillantes personas que conocí durante mi estancia. En especial al Doctor Gustavo María Levrino por apoyarme y permitirme participar en su grupo de investigación.

A mis amigos, en especial Oscar, Daniel y Chema que en momentos funestos y de extrema felicidad han estado conmigo incondicionalmente.

A Marta, por llegar a mi vida.

DEDICATORIA.

A mi abuela Yolanda que le hubiera llenado el corazón de orgullo acompañarme en esta culminación. Nunca había percibido la gran influencia que tenías en mis decisiones y en mi manera de vivir hasta que dejaste de estar conmigo físicamente, con todo el amor de mi corazón te dedico este pequeño logro.

A mi Mamá, Mi Papá, mi abuelo y mi hermana, les dedico este trabajo que también es fruto de su esfuerzo y que definitivamente no hubiera podido concretarse sin su amor y apoyo incondicional. No me alcanzará nunca la vida para agradecerles todos los sacrificios que han hecho por mí, esto es gracias a ustedes.

A mi familia y al destino que siempre me ha puesto en el lugar correcto y a la hora correcta para conocer a tantas personas maravillosas.

Financiamiento

Esta tesis fue financiada íntegramente por el proyecto: “Validación de la calidad del aire, luminosidad, vibración y entalpia como nuevos indicadores no-invasivos de bienestar animal durante el transporte bovino usando parámetros conductuales, fisiológicos y de calidad de la carne” con clave número 259327, de la convocatoria 2015 de Ciencia Básica del CONACyT concedido a la Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Lerma) cuyo responsable técnico es el Dr. Genaro Cvabodni Miranda De La Lama.

RESUMEN.

Las alteraciones podales en los bovinos disminuyen su capacidad adaptativa ante los estímulos estresores presentes en el rastro reduciendo su bienestar y generando defectos de calidad en la carne. El objetivo del presente estudio fue evaluar las alteraciones podales *post-mortem* en bovinos procesados en un rastro TIF del estado de Durango, identificando los posibles factores de riesgo asociados y el impacto de dichas lesiones sobre el pH de la carne 24 horas *post-mortem*. Para ello se registró la frecuencia de las siguientes lesiones pélvicas y torácicas del lado izquierdo del bovino: defecto de conformación, lesión de muralla, lesión de piel, lesión de suela, lesión de talón, lesión de línea blanca y doble suela. Para la clasificación de las lesiones se diseñó una escala de evaluación con 3 categorías: ausencia, lesión leve y lesión grave. Los datos corresponden a 100 jornadas y un total de 1040 bovinos a partir de los cuales se obtuvieron 2080 pezuñas. Los resultados indican que existen diferencias entre la proporción de las lesiones pélvicas y torácicas y que algunas lesiones están relacionadas en el mismo individuo. El defecto de conformación fue la lesión con mayor porcentaje (76%). Factores logísticos *ante-mortem* como el tipo de vehículo, distancia y tiempo de viaje al rastro estuvieron asociados con mayor frecuencia de algunas alteraciones podales y con incremento en el pH 24 horas *post-mortem*. La proporción de las lesiones presentó diferencias significativas dependiendo del sistema productivo de origen siendo menor en los animales provenientes de sistemas extensivos. Las lesiones de piel, defectos de conformación, lesiones de muralla y de línea blanca mostraron un efecto en el pH 24 horas *post-mortem* observando que más del 70% de los bovinos con estas lesiones tenían valores altos de pH.

La pezuña como indicador clave de bienestar animal puede proporcionar una idea general del nivel de bienestar que el bovino experimentó desde la unidad de producción hasta el rastro, funcionando también como elemento predictivo de la calidad de la carne.

Palabras clave: bienestar animal, rastro, bovinos, pezuñas, estrés.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	i
RESUMEN	3
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABLAS	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 Bienestar Animal.....	10
2.2. Estrés.....	11
2.3 Medición del bienestar animal.....	12
2.4 Evaluación de pezuñas: posible indicador de Bienestar Animal.....	14
2.5 La cadena logística <i>ante-mortem</i>	21
2.6. Impacto en la calidad de la carne.....	25
3. JUSTIFICACIÓN	28
4. OBJETIVOS	29
4.1 Objetivo general.....	29
4.2 Objetivos específicos.....	29
5. HIPÓTESIS	29
6. MATERIAL Y MÉTODOS	30
6.1 Escenario Geográfico.....	30
.....	31
6.2. Descripción del Rastro TIF estudiado.....	31
6.3 Características de la población estudiada.....	32
6.4. Protocolo de evaluación y metodología.....	32
6.5 Escalas de evaluación.....	35
6.6 Medición Ph.	37

6.7 Análisis estadístico	37
7. RESULTADOS	37
7.1. Características de la población estudiada.....	37
7.2 Distribución de las lesiones.....	38
7.3. Lesiones torácicas y pélvicas por sistema productivo.....	40
7.4. Influencia de la severidad entre las lesiones de pezuñas del mismo individuo.....	43
7.5. Efecto de la logística <i>ante-mortem</i> en la frecuencia de las lesiones	44
7.6. Influencia de las lesiones en pezuñas torácicas y pélvicas de bovinos en el valor de pH de la canal 24 horas <i>post-mortem</i>	52
7.7 Efecto de las variables logísticas <i>ante-mortem</i> en el valor de pH de la canal 24 horas <i>post-mortem</i>	55
8. DISCUSIÓN	59
8.1 Análisis de distribución de lesiones.....	59
8.2. Influencia del sistema productivo.	60
8.3. Influencia de la severidad en pezuñas del mismo individuo.....	62
8.4 Logística <i>ante-mortem</i> y su influencia en la proporción de lesiones.....	63
8.5. Efecto de las alteraciones podales en el pH de la canal.....	67
8.6. Efecto de la logística <i>ante-mortem</i> en el pH de la canal.....	68
9. CONCLUSIÓN	70
9. REFERENCIAS	72

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Alteraciones podales <i>post-mortem</i> en bovinos.....	14
Figura 2. Estructura ósea del menudillo y la pezuña en bovinos.	15
Figura 3. Corión de la pezuña.).....	16
Figura 5. Corte longitudinal de una pezuña de bovino..	17
Figura 4. Superficie de la pezuña bovina..	17
Figura 6. Defecto de crecimiento.	20
Figura 7. Fisura en muralla.	20
Figura 8 Rastro TIF N° 546..	30
Figura 9 Mapa de Durango..	31
Figura 10. Pezuña retirada después del desangrado, vista anterior..	33
Figura 11. Pezuña retirada después del desangrado vista posterior.	33
Figura 12. Zona de separación de miembros torácicos y pélvicos	33
Figura 13. Metodología evaluación de pezuñas.	34
Figura 14. Porcentaje de lesiones en miembros torácicos y pélvicos de bovinos al sacrificio procedentes de sistemas productivos de engorda.	41
Figura 15. Porcentaje de miembros torácicos y pélvicos de bovinos en sistemas productivos de sabana	42
Figura 16. Porcentaje de miembros torácicos y pélvicos de bovinos en sistemas productivos lecheros	43
Figura 17. Defecto de conformación grave en pezuñas torácicas de bovino y su influencia en el pH de la canal 24 horas post-mortem.....	53
Figura 18. Lesión de piel grave en pezuñas pélvicas de bovino y su influencia en el pH de la canal 24 horas post-mortem.	53
Figura 19. Influencia de la lesión de muralla torácica grave en el pH de la canal 24 horas post- mortem.	54
Figura 20. Influencia de la presencia de lesión de muralla torácica y pélvica en el pH de la canal 24 horas post-mortem.....	54
Figura 21. Influencia de la presencia de lesión de línea blanca torácica y pélvica en el pH de la canal 24 horas post-mortem.	55

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Descripción y causa de las lesiones de la pezuña.....	19
Tabla 2. Características de la población estudiada	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3. Descripción de escalas de evaluación de salud e integridad podales.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4. Porcentaje de lesiones en miembros torácicos y pélvicos de bovinos	39
Tabla 5. Relaciones de Somers D para la asociación de la severidad entre la pezuña pélvica y la torácica en el total de individuos y por sistema productivo.	44
Tabla 6. Efecto de la categoría comercial en la frecuencia y proporción de lesiones post-mortem.....	45
Tabla 7. Efecto de la distancia recorrida en la frecuencia y proporción de lesiones en pezuñas torácicas y pélvicas post-mortem.	47
Tabla 8. Efecto del tipo de vehículo en la frecuencia y proporción de lesiones en pezuñastorácicas y pélvicas post-mortem.....	48
Tabla 9. Efecto del tiempo de viaje y la edad en la frecuencia y proporción de lesiones post-mortem.....	49
Tabla 10. Efecto del sistema productivo en la frecuencia y proporción de lesiones halladas post-mortem.....	51
Tabla 11. Efecto de las variables logísticas en la proporción de pH 24 horas post-mortem (se toma como punto de corte pH de 5.8).	57
Tabla 12. Efecto de las variables logísticas en la proporción de pH 24 horas post-mortem (punto de corte pH 6)	58

1. INTRODUCCIÓN.

En el año 2017 México produjo 1.92 millones de toneladas de carne de bovino, posicionándose en el séptimo lugar dentro de los países a nivel mundial (SIAP, 2018). La producción de ganado bovino se desarrolla en diferentes contextos agroclimáticos, tecnológicos y zootécnicos, a través de una gran variedad de sistemas productivos que se diferencian entre sí por el nivel de tecnología aplicada, su integración y los mercados que atienden (Carrera y col., 2014). De manera general, los becerros se producen en los estados del sur (Veracruz, Chiapas, Guerrero, Michoacán y Tabasco principalmente) en sistemas extensivos y semi-tecnificados donde son alimentados hasta que logran un peso de aproximadamente 300 kg (Canizal y col., 2012), posteriormente son transportados a engordas altamente tecnificadas ubicadas principalmente en los estados del Norte (Sinaloa, Baja California, Jalisco, Coahuila entre otros) donde alcanzan un peso de 450 kg a la matanza (Valadez-Noriega y col., 2018).

Durante la vida del bovino se pueden distinguir 3 períodos importantes: la cría, el período productivo (crecimiento, engorda y finalización) y su muerte, éste último involucra desde el transporte a matadero, hasta su sacrificio (Welfare Quality®, 2009). La coordinación de estos períodos representa una tarea compleja que repercute en el estrés experimentado por los animales comprometiendo su bienestar (Miranda, 2013). El bienestar es en términos generales un aspecto complejo y multifacético en el que intervienen aspectos socioeconómicos, culturales, religiosos, políticos y científicos. Es definido por la OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal) como la manera en la que un animal afronta las condiciones de su entorno. Un animal está en buenas condiciones de bienestar si (con base en pruebas científicas) está sano, cómodo, bien alimentado, en seguridad, puede expresar formas innatas de comportamiento y si no padece sensaciones desagradables de dolor, miedo o desasosiego. Algunas de las causas asociadas con pobres niveles de bienestar son fatiga, miedo, ayuno, deshidratación, y lesiones, por decir solo algunas y pueden repercutir inclusive en los parámetros productivos y en la calidad de la carne, cuando la respuesta de estrés es suficientemente fuerte (Grandin y Shivley, 2015). Esto es crucial en la última etapa de la vida del animal: transporte, y estancia en rastro en las últimas 24 horas, donde el estrés es intenso

principalmente por el manejo y el ambiente novedoso. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de generar indicadores válidos, fiables y viables que permitan valorar objetivamente el nivel de bienestar animal (Miranda y col., 2017).

Losada-Espinosa y colaboradores, 2018 dividieron a los principales indicadores de bienestar animal *ante-mortem* en bovinos productores de carne en: indicadores fisiológicos, morfométricos, de comportamiento y los relacionados con la calidad de la carne. El análisis de la información obtenida a través de dichos indicadores permite identificar problemas de bienestar ocurridos en la granja y en las etapas *ante-mortem* con el objetivo de mitigar su efecto sobre el animal. Por lo cual resulta más práctica la evaluación a nivel de rastro utilizando “indicadores clave”, los cuales pueden revelar información acerca de las condiciones de bienestar experimentadas por los animales tanto en la unidad de producción como en etapas *ante-mortem* (Grandin, 2017, Staaveren y col., 2017). Algunas de las variables que podrían reducirse mediante la evaluación de bienestar en rastro son: cojeras, lesiones podales, lesiones causadas por el alojamiento y hematomas (Grandin, 2017). Es sabido que las cojeras constituyen un problema importante de bienestar que afecta tanto a bovinos productores de leche como a productores de carne por el dolor que la lesión provoca al bovino durante su vida productiva con las repercusiones económicas que esto implica (Brujinis y col., 2012). Las cojeras han sido asociadas con múltiples condiciones: laminitis, traumatismos, dermatitis digital, mala conformación y otras patologías de la pezuña (Kester y col., 2014; Grandin, 2017). Para Noordhuizen, 2008 la frase “sin pezuñas no hay bovino”, no es exagerado si se considera que el 80% de las cojeras en ganado lechero son causadas por alteraciones podales (Sheares y Van Amstel, 2013) y en ganado cárnico no obstante la baja prevalencia de patologías podales que no rebasa el 3% es un problema crucial de bienestar por el dolor que pueden experimentar los bovinos (Magrin, 2018). Aunque en el rastro se realiza una inspección *ante-mortem* para descartar problemas locomotores, la detección de lesiones podales y su distribución entre los diferentes lotes pueden sugerir pobres condiciones en la granja afectando la salud, el comportamiento y el bienestar de los bovinos. Por lo tanto, los desórdenes podales y los factores que predisponen su aparición deberían ser investigados con mayor profundidad (Magrin, 2018). Precisamente el presente estudio pretende caracterizar las lesiones podales de los bovinos *post-mortem* e identificar

los factores de riesgo para su presentación con el objetivo de validarlas como indicador clave de bienestar animal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Bienestar Animal

El bienestar animal es una ciencia relativamente joven que ha tenido una rápida evolución en los últimos treinta años (Wigham y col., 2018). Paralelamente, la opinión pública en general y los grupos de interés del sector ganadero como son los consumidores, las empresas, los veterinarios, los productores y los políticos muestran un creciente interés por el bienestar de los animales (Hewson, 2003). Por lo anterior, se han desarrollado proyectos como “Welfare Quality ®” que a través de 4 principios permite calcular lo más objetivamente posible el estado de bienestar experimentado por los animales:

1. Alimentación.
2. Alojamiento.
3. Salud.
4. Comportamiento.

El método científico, debe ser la base de cualquier protocolo que pretenda evaluar el bienestar animal dejando de lado consideraciones morales (Lawlis y Allen, 2014; Broom, 1988). Desde esa perspectiva, conforme el estudio del bienestar animal avanza se ha generado un consenso entre la comunidad científica acerca de su definición coincidiendo en que es un concepto multidimensional que debe considerar siempre la función biológica de los animales, su comportamiento natural y su estado mental (Lerner, 2008; Miranda, 2013). Para Broom (1986) el bienestar animal es el estado en el que se encuentra el individuo con respecto a sus intentos para hacer frente al ambiente y que incluye su salud física y mental; esta misma definición fue adoptada años más tarde por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE).

Grandin (2003) enfatiza la importancia de desarrollar investigación científica con aplicación práctica e industrial para mejorar el bienestar desde la unidad de producción hasta el rastro. Es especialmente esta última etapa de la vida del animal en la que el impacto del estrés genera pérdidas económicas que la mayoría de las veces pasan inadvertidas o son asumidas como inevitables por la cadena cárnica (Miranda, 2013). Por lo que un programa que mitigue el efecto ambiental en el manejo *ante-mortem* será importante para prevenir el costo biológico y las pérdidas económicas (Wigham y col., 2018). Lo anterior será posible si se considera al bienestar animal como eje de un programa de calidad operativa en todos los procesos y operaciones durante la cría, transporte, puntos intermedios, etapa *ante-mortem* y muerte.

2.2. Estrés

Los animales hacen frente a los eventos adversos a través de una serie de mecanismos energéticos manteniendo de esta manera la homeostasis, si el desafío es demasiado intenso o se prolonga, el costo biológico de la adaptación puede llevar al animal a enfermar o morir (Broom y Johnson, 1993). Seyle, 1976 definió al estrés como las respuestas inespecíficas que emite el organismo ante cualquier exigencia ambiental que al sobrepasar los sistemas de control del organismo puede afectar su habilidad inclusiva.

En 1935, Cannon propone el término homeostasis para describir la estabilidad del organismo mediada por procesos fisiológicos coordinados, que mantienen las variables fisiológicas en rangos aceptables. Describe también las secreciones en la glándula adrenal que están relacionadas con lo que llamó respuesta de lucha o huida en la cual se activará la secreción de catecolaminas en la médula adrenal a través del sistema simpático-adrenal (SA). Años más tarde, Seyle propone el síndrome general de adaptación (SGA) en el que identifica las tres fases del estrés: alarma, adaptación y agotamiento. Seyle resalta la acción del eje Hipotálamo Hipófisis Adrenal (HPA) en el síndrome general de adaptación, así como Cannon describe la participación del eje SA (Goldstein y Kopin, 2007). La razón por la que el sistema SA y el eje HPA son activados al exponerse ante factores estresores como los que sufre el animal durante su vida productiva y las etapas *ante-mortem* es por su capacidad de producir

energía a partir de reservas energéticas tisulares, con el objetivo de activar otras fuentes metabólicas para asegurar el suministro energético (Mormède y col., 2007). La liberación de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) resultado de la activación del sistema SA la estimularán a los receptores α (1-2) y β (1-3) para redirigir el flujo sanguíneo hacia tejido nervioso y muscular preparando al animal para una eventual respuesta de lucha o huida (Rabasa y Dickson, 2016).

Las respuestas bioquímicas y fisiológicas generadas en esta etapa de estrés agudo serán: vasoconstricción periférica (piel, aparato digestivo y aparato urinario), vasodilatación central (cerebro, pulmones, corazón y músculo esquelético), hiperglucemia, bronco dilatación, incremento del ritmo cardiaco, aumento de presión arterial, disminución en el tiempo de coagulación, lipólisis, liberación de ácidos grasos desde el tejido adiposo, glucogenólisis y gluconeogénesis hepática (Rabasa y Dickson, 2016; Bartness y col., 2010). En el caso del eje HPA la hormona liberadora de corticotropina sintetizada en el hipotálamo provoca en la hipófisis anterior la síntesis y liberación de adrenocorticotropina (ACTH), que induce la secreción de cortisol en la zona fascicular de la corteza adrenal con la finalidad de producir energía a partir de gluconeogénesis y (Mormède y col., 2007).

Por lo tanto, cuando los desafíos ambientales son intensos o muy prolongados los mecanismos de adaptación mediados por la vía SA y la vía HPA serán sobrepasados resultando en un costo biológico elevado derivado del esfuerzo adaptativo no exitoso (Levrino, 2014). Evidentemente un animal con un estado de bienestar pobre tendrá mayor dificultad o será incapaz de lidiar con las exigencias ambientales que enfrentará en su trayecto al rastro, su espera *ante-mortem*, y su muerte. Por lo tanto será necesario estudiar el impacto que la cadena logística y las condiciones comerciales tienen sobre el nivel de estrés y el bienestar (Bourguet y col., 2011).

2.3 Medición del bienestar animal

La medición del bienestar, es un proceso complejo que involucra una variedad de parámetros de comportamiento, fisiológicos, bioquímicos, inmunológicos y patológicos (Etim, y col., 2013). Dichos parámetros son alterados cuando el animal experimenta situaciones y

ambientes desconocidos como lo son el transporte y el período de matanza, donde habrá una amplia gama de estímulos desafiarán la capacidad adaptativa de los animales, teniendo inclusive repercusiones económicas y defectos en la calidad de la carne (Ljungberg y col., 2007; Van de Water y col., 2003; María y col., 2003). En este contexto, Losada y col., 2018 propusieron 72 indicadores de bienestar animal en rastro agrupándolos en: fisiológicos, morfométricos, de comportamiento y los relacionados con la calidad de la carne. Estos indicadores deben cumplir 3 características: validez (realmente evalúa bienestar), fiabilidad (su medida tiene un error aceptable y es repetible) y viabilidad (aplicable en condiciones comerciales) (Miranda y col., 2017). Además, cuando se pretende medir el bienestar se le debe considerar como una característica individual y que los animales difieren en su ontogenia y filogenia, por lo tanto, enfrentaran el mismo ambiente de diferente manera (Welfare Quality, 2009).

La medición de bienestar a nivel de rastro permitirá identificar inclusive problemas asociados a la granja, a través del uso de “indicadores clave” como la condición corporal, cojeras, articulaciones inflamadas, limpieza y hematomas. Para Grandin (2017) existen dos tipos de programas de evaluación de bienestar animal que pueden ser utilizados en el rastro:

1. Aquellos relacionados con lesiones agudas o traumáticas que ocurrieron durante la carga, descarga, transporte o en la estancia del animal en el rastro.
2. Aquellos problemas crónicos que ya existían antes de que los animales fueran cargados para ir al rastro, algunos ejemplos son las cojeras y las lesiones crónicas.

Con frecuencia los bovinos son afectados por lesiones podales que comprometen su funcionalidad pudiendo llegar a ser extremadamente dolorosas, generan cojeras y evitan que el bovino desarrolle su comportamiento normal (Dutton-Regester y col., 2017). Una pezuña lesionada está asociada con la reducción en la vida productiva del animal como en su nivel de bienestar (Greenough, 2001). La detección y diagnóstico de las alteraciones podales en el rastro es un indicador que se puede medir para estimar las condiciones de bienestar en la

granja y pueden agravarse o ser significativas durante el transporte y el rastro (Grandin, 2017).



Figura 1. La primera imagen a la izquierda corresponde a una lesión de muralla. Mientras que en la imagen de la derecha se observa lesión de suela y enfermedad de la línea blanca. Para Grandin 2017, las lesiones podrían dar información acerca del bienestar en etapas previas a la muerte del bovino.

2.4 Evaluación de pezuñas: posible indicador de Bienestar Animal

La salud e integridad de la pezuña es crucial para el bienestar del animal, ya que es el principal soporte de peso, cualquier anomalía reducirá su vida productiva (Greenough, 2001). En bovinos lecheros, más del 90% de las cojeras son debidas a patologías podales, principalmente las de miembros pélvicos, lo que repercute directamente en su bienestar generando pérdidas económicas importantes, que han sido subestimadas por los participantes en la cadena productiva (Pastell y col., 2010). En el caso del ganado cárnico la prevalencia de cojeras severas oscila entre el 1 a 3% (Cozzi y col., 2013; Brscic, 2015), no obstante, no existen estudios que analicen el efecto de las características productivas y las condiciones *ante-mortem* en la prevalencia de lesiones podales, lo que abre la oportunidad para considerar a las pezuñas como un posible indicador clave de bienestar animal (Grandin, 2017).

2.4.1. Consideraciones anatómicas: Morfología y función de las pezuñas.

Anatómicamente no existen mayores diferencias entre miembros torácicos y pélvicos desde la región metacarpiana y metatarsiana hasta la falange distal (Nocek, 1986). Los elementos

metacarpianos principales se fusionan para formar un hueso metacarpiano común (metacarpiano III + IV), este se divide en su extremo distal en trócleas articulares separadas, una para cada falange proximal de los dedos III y IV (Dyce y col., 2007). La falange proximal, media y distal tendrá las mismas estructuras para el dedo medial y lateral con los correspondientes huesos sesamoideos proximales (dos para cada dedo), y un único hueso sesamoideo distal (Nocek, 1986). El hueso del metacarpo o metatarso comúnmente conocido como la caña está comprimido de dorsal a palmar y expandido hacia los lados en ambos extremos. Las falanges proximales y medias son muy parecidas, aunque las proximales son dos veces más largas que las medias. La falange distal tiene la forma de la pezuña en la que se aloja y presenta superficies articular, axial, abaxial y solar. Las articulaciones que unen los huesos metacarpianos y digitales se conocen comúnmente como articulación metacarpo-sesamoideo-falángica o del menudillo, articulación interfalángica proximal o de la cuartilla y la articulación interfalángica distal o de la corona (Dyce y col., 2007).

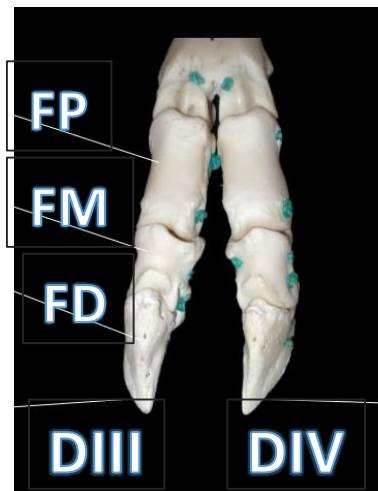


Figura 2. Estructura ósea del menudillo y la pezuña en bovinos. FP: falange proximal, FM: falange media, FD: falange distal, DIII: tercer dedo y DIV: cuarto dedo.

La tercera falange y la parte distal de la segunda falange están cubiertas por una estructura queratogénica llamada pezuña que recubre también, al hueso sesamoideo distal, la bursa podotrocLEAR, ligamentos articulares y la inserción de los tendones extensores y flexores. El dedo del bovino se constituye básicamente por 3 tipos de tejido: córneo, corión y hueso (Toledo, 2006). El tejido córneo está compuesto por queratina y cumple la función de proteger a los tejidos sensibles internos del pie y de soportar el peso del bovino además

participa en la circulación plexo sanguíneo laminar actuando como una bomba que durante el apoyo impulsa la sangre de regreso de la pezuña y al elevar el miembro permite la irrigación de dicha pezuña (Greenough, 2001).

Existen 4 sitios queratogénicos en la pezuña a partir de los cuales se produce el tejido corneo característico de la pezuña, ellos son: corión coronario, perióplico, laminar y el solar, por lo tanto cada pezuña tiene perioplo, muralla, suela y talón (Nocek, 1986). La lámina sensitiva (corión) produce el tejido corneo laminar que une la pared externa al corion y también se encarga de la producción del tejido corneo en la línea blanca, a su vez el corion solar produce la suela y el talón. La calidad e integridad de dichas estructuras puede ser afectada por factores tanto intrínsecos (nutrición, metabolismo, flujo sanguíneo) como extrínsecos (ambientales) (Berry, 1999). Estos tejidos queratogénicos son irrigados a través de numerosas anastomosis arterio-venosas que mantienen la nutrición tisular, la temperatura y la presión sanguínea (Greenough, 2001).

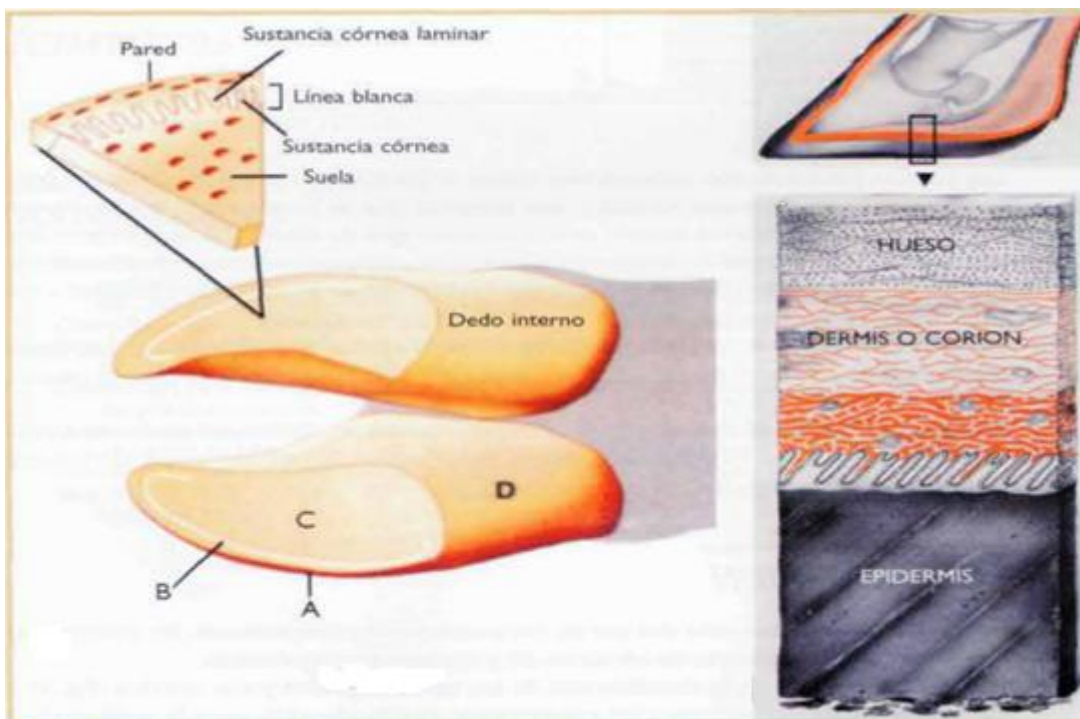


Figura 3. Corión de la pezuña. El corión se subdivide en: peripole (A), coronario (B), láminas sensitivas (C) y el corión de la suela (D) (tomado de Acuña, 2004).

La pared o muralla de la pezuña forma la mayor parte de ambas caras axial y abaxial; la flexura produce una cresta dorsal, que se curva distalmente hacia la pinza de la pezuña (Dyce y col., 2007). Ambas caras están delimitadas caudalmente por surcos más o menos diferenciados que se extienden desde el borde coronario hasta la cara de la suela; el tejido córneo caudal a los surcos pertenece al bulbo. El surco axial es más craneal y proporciona un área de debilidad que en ocasiones es rota y penetrada, por lo que la infección puede propagarse fácilmente. La pared de la muralla no es suficientemente fuerte ya que su grosor cambia conforme se acerca a la pinza: es más gruesa cerca de la pinza y hacia el suelo en especial abaxialmente (Greenough, 2001). A su vez, la suela es un área relativamente lisa, confinada dentro del ángulo inclinado “hacia adentro de la pared o muralla, de la que está separada por la llamada línea blanca más blanda (Nocek, 1986). Esta línea blanca es en realidad un poco más ligera y sólo tiene una anchura de unos pocos milímetros, abarcando la alternación de los extremos distales de las láminas córneas. Centralmente, la suela se fusiona imperceptiblemente con el vértice del bulbo. La unión entre los dos depende de la extensión de la almohadilla digital, que se encuentra debajo del talón. El talón abarca toda la cara caudal y una porción considerable de la cara de la pezuña que fricciona y apoya contra el suelo, en donde su vértice se inserta en la suela en forma de V. Es la parte que más peso soporta (Dyce, Sack y Wensing, 2007).

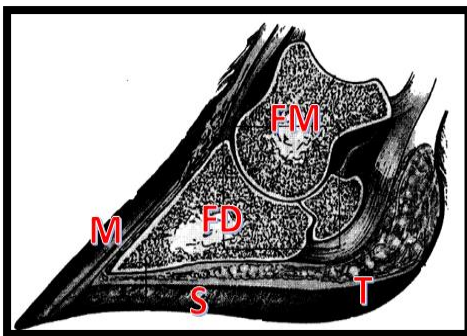


Figura 5. Superficie de la pezuña. Se observan los talones (T), las suelas (S), así como las paredes abaxiales y axiales (adaptado de Acuña, 2004).

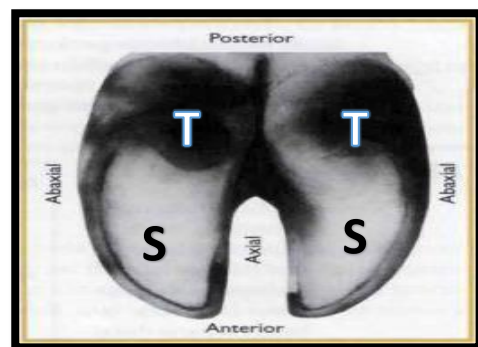


Figura 4. Corte longitudinal de una pezuña de bovino. M: muralla, S: suela, T: talón y FM: falange media y FD: falange distal (Adaptado de Greenough, 2001).

2.4.2. Causas y lesiones más frecuentes

Las causas de las lesiones podales pueden ser diversas, varían desde traumatismos, desgaste, superficies abrasivas, mal recorte de pezuñas, humedad excesiva, suciedad y trastornos como la laminitis (Shearer y van Amstel, 2017), dicho trastorno se refiere a la inflamación de las estructuras laminares de la pezuña como resultado de disturbios circulatorios en las anastomosis arterio-venosas que irrigan el corión laminar (Hargis y Gin, 2012). Es la principal patología que predispone a la aparición de cojeras y lesiones podales ya que provoca cambios funcionales y morfológicos (Vermunt y Greenough, 1994).

Las patologías podales se han dividido de acuerdo a su etiología en no infecciosas e infecciosas (Tabla 1) (International Lameness Committee, 2008). Su prevalencia varía entre granjas, regiones y sistemas de alojamiento, y cada una tiene su propia fisiopatología y sus factores de riesgo específicos (Solano y col., 2016). Las lesiones infecciosas incluyen la dermatitis digital e interdigital mientras que en las no infecciosas las más frecuentes son la úlcera de la suela, úlcera de la pezuña, hemorragia solar, enfermedad de la línea blanca, defectos de conformación, fisuras y grietas (Solano y col., 2016; Keane y col., 2015; Magrin y col., 2018; Greenough, 2001) comúnmente asociadas a problemas metabólicos, traumatismos y condiciones ambientales.

Tabla 1. Descripción y causa de las lesiones de la pezuña (Atlas de Salud de la Pezuña, 2015).

Lesión	Tipo de lesión	Descripción
Dermatitis Digital interdigital.	Infecciosa e	Inflamación de la piel alrededor de la corona y el espacio interdigital debida a la proliferación de microorganismos: <i>Treponema spp</i> y <i>Dichelobacter nudosus</i> . Hay signos evidentes de inflamación, úlceras dolorosas e hiperqueratosis.
Pododermatitis necrótica.		Comunmente conocida como “gabarro”. Causada por una combinación de <i>Fusobacterium necrophorum</i> y <i>Bacteroides melaninogenicus</i> agentes oportunistas que colonizan las lesiones en piel generadas por pisos abrasivos, palos y piedras.
Úlcera de la suela y del talón.	No infecciosa	Consiste en la pérdida de queratina como consecuencia del debilitamiento del corion.
Doble suela.		Interrupción en la producción del estrato córneo de la suela, asociada a cambios bruscos de alimentación.
Enfermedad de la línea blanca	No infecciosa	Separación o interrupción de la integridad de la línea blanca, por daño mecánico a alteraciones metabólicas
Hemorragia de la suela	No infecciosa	La alteración de la pezuña más común, generalmente resultado de alguna condición inflamatoria del corión. Se visualiza una decoloración rojiza o púrpura del tejido corneo.
Defectos de conformación	No infecciosa	Diferencias en longitud, altura y forma de las pezuñas a raíz de diversas alteraciones crónicas (nutricionales, laminitis, falta de desgaste) provocan crecimiento anormal y deformaciones en la pezuña
Fisuras y traumatismos	No infecciosa	Traumatismos o alteraciones metabólicas del tejido corneo que provocan fisuras en distintas zonas, pueden ser verticales u horizontales.

2.4.3 Enfermedades Infecciosas y no infecciosas de la pezuña.

Las más conocidas son: la dermatitis digital y la dermatitis interdigital, causadas por *Fusobacterium necrophorum*, *Treponema spp* y *Dichelobacter nodosus*. Dichas bacterias aprovechan las lesiones podales para infectar tejidos profundos produciendo dolor y disminución en la productividad, además de su alta capacidad de diseminación en la unidad de producción (Somers y col., 2005). Los trastornos no infecciosos pueden ser manifestaciones de laminitis y los más frecuentes son los defectos de conformación, como pezuñas asimétricas, espacio interdigital amplio y pinzas alargadas, alteraciones en la integridad y dureza de la muralla, doble suela, fisuras, hemorragia solar, úlcera solar y enfermedad de la línea blanca (Alvergnas y col., 2019).



Figura 6. Defecto de crecimiento.



Figura 7. Fisura en muralla.

2.5 La cadena logística *ante-mortem*

La última etapa de la vida del bovino está integrada por la cadena logística *ante-mortem* que incluye la carga, el transporte, la descarga, el descanso, el aturdimiento y el desangrado del animal; estas etapas han sido llamadas puntos críticos debido a que por sus condiciones y el manejo realizado se genera un impacto importante en el nivel de estrés que experimentan los animales (Ljungberg y col., 2007; Miranda, y col., 2010). Un bovino lesionado tendrá menor capacidad de hacer frente a los estímulos estresantes presentes en dicha cadena logística, en consecuencia aumentará el tiempo de manejo en cada una de las etapas debido a la dificultad de los bovinos para mantenerse en pie ó de moverse, lo que aunado a condiciones climáticas adversas, la deshidratación, ayuno, dolor y fatiga propias de la cadena logística *ante-mortem* que atentarán contra el bienestar del animal (Gregory, 1998). Por lo anterior es necesario proveer de instalaciones, capacitación a operarios, condiciones que faciliten el manejo de los animales mitigando su nivel de estrés, con supervisión veterinaria y una eficiente coordinación entre los diferentes componentes de la cadena para identificar y prevenir problemas de bienestar (Miranda y col., 2010). De la misma manera ofrecer agua *ad libitum* durante la estancia en rastro será un punto vital para la rehidratación y comodidad de los bovinos. A continuación, se hace una breve descripción de las etapas logísticas *ante-mortem*.

2.5.1. Transporte

El transporte representa una actividad estresante que deberá estar en todo momento dirigido a garantizar el bienestar animal (Miranda, y col., 2014). El comienza cuando los animales son cargados en los vehículos que los llevarán al rastro (Gregory, 2008), ya que serán expuestos a una amplia variedad de estresores como son: ruidos, contacto con otros animales y el ambiente desconocido (Ljungberg y col., 2007). La intensidad con la que el animal perciba dichos estresores es influida por sus características inherentes como la raza, la edad, el sexo, el sistema productivo de origen y la relación humano-animal previa (Terlouw y col., 2008). La ruptura de la estructura social, el manejo, mal diseño de instalaciones, el transporte de animales lesionados, la fatiga y el ambiente novedoso son aspectos que tienen alto impacto en el nivel de bienestar animal durante el transporte (Miranda, y col., 2014). Bajo este contexto Fisher y col. 2009, agruparon los principales factores de riesgo en tres categorías:

1. Estrés y miedo, debido al manejo, tiempo de espera y las condiciones novedosas durante el transporte.
2. Deshidratación, agotamiento de las reservas energéticas y cansancio que incrementan con la duración del transporte.
3. Riesgos a la comodidad térmica y a la integridad física.

Para Grandin 1997, la raza y las experiencias previas están relacionadas con la reactividad y por lo tanto con la facilidad con la que los bovinos hacen frente a estos riesgos. Un vehículo con un diseño específico para mantener la comodidad del animal será fundamental para mitigar el efecto del estrés durante el transporte, donde la ventilación y la densidad serán factores importantes (Romero y col., 2011). Aunque no hay suficiente información publicada en México respecto a los tipos de vehículos más usados para transportar el ganado, Miranda 2013, indicó de cuatro tipos de vehículos especializados en el transporte de ganado: camión pequeño (≤ 3 ton), camión simple (4×13 m) y camión con semirremolque (4×18 m: un remolque) y camión con acoplado (4×20 m: dos remolques), Respecto a la conducción, es sabido que la experiencia del conductor (Broom, 2005), el estilo de conducir, la frecuencia de frenados y las aceleraciones bruscas provocarán estados de miedo y agitación entre los bovinos provocando mayor irritabilidad, caídas, y fatiga (Tarrant y col., 1988). Esto es posible prevenirlo a través de capacitación y sensibilización continua de los conductores, orientándolos a un manejo gentil, lento y silencioso que atenué estos efectos (Grandin, 2014). En Estados Unidos desde el año 2007 la auditoría nacional en calidad de carne (NBQA) ha trabajado en un programa de certificación de transportistas con el objetivo de contrarrestar las pérdidas económicas derivadas de la nula capacitación durante el transporte. Esfuerzos similares deberían realizarse en México para mejorar la calidad de la conducción y disminuir el costo tanto biológico como económico asociados a esta etapa, sin embargo, las presiones comerciales exigen un transporte con altas densidades; lo que reduce la disponibilidad de espacios para minimizar los costos de transporte (González y col., 2012). Es importante señalar que tanto altas como bajas densidades dificultarán la realización de movimientos de adaptación para mantener el balance en el vehículo en movimiento (Whiting, 2000; Grandin,

1993), cuando la densidad de carga es alta el bovino será incapaz de orientarse y en bajas densidades será difícil mantener el equilibrio lo que incrementará la frecuencia de caídas y lesiones (Terlouw y col., 2008; Schartzkopf-Genswein, y col., 2012). La densidad de carga ideal debe calcularse considerando la tolerancia térmica del ganado, el clima, la distancia y las características de los animales (Warren, y col., 2010). Broom 2008, propuso para calcular la superficie a asignar por animal,: $\text{Superficie/animal (m}^2\text{)} = 0.021 \times \text{Peso Vivo}^{0.67}$. Sin embargo, es importante considerar siempre las características de los animales que se transportarán así como los factores antes mencionados.

2.5.2. Carga y descarga

Son un componente inherente al transporte, durante el cual frecuentemente los animales caen, resbalan, vocalizan y experimentan miedo (Broom, 2005; María y col., 2004; Flint y col., 2013). En este proceso los bovinos son afectados en orden de importancia por: el diseño del vehículo y de la rampa, la experiencia de los trabajadores, el número de animales y su temperamento, (María y col., 2004; Minka y Ayo, 2008). El diseño de las rampas debe facilitar el movimiento de los animales y contar con adaptaciones para las características de cada vehículo de manera que la altura de la rampa siempre coincida con la del vehículo; esta medida sencilla facilitará y optimizará el manejo (Grandin, 1990). Las especificaciones de diseño en México están mencionadas en la NOM-051-ZOO-1995; es conveniente para la descarga que el rastro cuente con una plataforma a la altura del piso del camión con una dimensión de al menos 3 metros, lo que facilitará la salida de los animales disminuyendo el miedo. Acercar a los animales a corrales cercanos a la rampa de embarque un día antes de su viaje, así como considerar las condiciones climáticas durante la carga son medidas sencillas y efectivas (Villarroel y col., 2001). Una función del MVZ durante la descarga de los bovinos en el rastro es la inspección durante la locomoción para identificar lesionados, con cojeras y los no ambulatorios.

2.5.3. Descanso ante mortem

A su llegada al rastro los objetivos son: recuperación del bovino, su rehidratación y la observación por parte de un MVZ para identificar lesionados o extremadamente fatigados. Se recomienda que los bovinos descansen de 2 a 4 horas antes de su muerte, especialmente aquellos que han tenido un viaje largo o intenso, no obstante, en algunos rastros los animales permanecen poco tiempo en los corrales o inclusive pasen directamente al proceso de

aturdimiento y desangrado. El descanso en corrales es necesario porque permite al bovino reponer el glucógeno muscular, rehidratarse y recuperarse de los efectos sufridos durante el transporte (Mounier, y col., 2006; Warris y col., 1984). Deberá siempre procurarse un corral de espera cómodo, considerando también que tiempos de espera demasiado largos pueden repercutir en costos biológicos importantes: menor rendimiento, cortes oscuros y hematomas (Javis y col., 1996; Gallo y col., 2003), la espera deberá transcurrir en un ambiente de calma, permitiendo que el animal regule su temperatura, se hidrate y esté cómodo, el reabastecimiento de glucógeno muscular se verá favorecido (del Campo y col., 2010). De cualquier manera, al decidir el tiempo de espera, se deberá tener en cuenta la calidad del viaje, las condiciones climáticas, así como las características individuales de los animales que arriban al rastro (Moberg, 2009).

Respecto al diseño los corrales, el bovino debe disponer del espacio suficiente para descansar, disponiendo de agua limpia y fresca así como sombra (30% del corral techado), la capacidad máxima deberá ser de 60 animales, evitando mezclar bovinos de diferentes lotes. Para Grandin 2014, los puntos de diseño esenciales a considerar son: piso sólido y antiderrapante de preferencia con cuadrícula de 10 centímetros por lado y una profundidad de los surcos de 2.5 cm, puertas amplias de 3 metros de longitud, se buscará en bovinos de 500 kg un espacio mínimo de 2.25 metros cuadrados por animal.

2.5.4. Aturdimiento

El miedo y dolor son dos riesgos inminentes durante el proceso de matanza y para contrarrestarlos se realizan dos procedimientos cruciales: el aturdimiento y el desangrado. El bovino es aturdido para inducir la pérdida de la conciencia y posteriormente desangrado para provocar su muerte antes de que recupere la conciencia (Terlouw y col., 2016). El aturdimiento es provocado con una pistola de perno cautivo que puede ser de penetración o de concusión con la que el golpe de perno en el cráneo genera una onda de choque que provoca daño irreversible (Terlouw y col., 2015; Gregory, 1998). A su vez, la pistola de penetración provocará hemorragia cerebral e incremento en la presión al golpear el cráneo lo que dañará las estructuras cerebrales (Finnie y col., 2002; Gibson., y col., 2015).

Un punto crítico durante el aturdimiento es el sitio de aplicación y la dirección del émbolo, por lo que hay que ajustarlo en función de las diferencias anatómicas debidas a la raza. En México, la NOM-033-SAG/ZOO-2014, “Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres” indica los sitios específicos para el disparo dependiendo de la raza y la edad del bovino, así como los signos para constatar la eficacia del aturdimiento. En un aturdimiento efectivo el animal presentará los siguientes signos: colapso inmediato, rigidez de los miembros (delanteras extendidas y traseras encogidas) fase tónica, ausencia de respiración, ojos fijos, pérdida de reflejo corneal, ausencia de rotación ocular y respiración arrítmica, además el animal no debe vocalizar, parpadear ni presentar reflejos o reacciones cuando es izado en el riel (Grandin, 2002). Respecto a las fallas en el aturdimiento, estas pueden ser atribuidas al equipo aturdidor o a los errores del personal operario (Pérez-Linares y col., 2015). El mantenimiento de la pistola debe ser constante (Grandin, 2002). Además del sufrimiento de los bovinos, un mal aturdimiento implicará hemorragias musculares y hematomas con el compromiso económico y sanitario que esto supone (Gallo y Tadich, 2014). El estrés intenso durante este procedimiento puede reducir drásticamente el glucógeno muscular derivando en problemas de calidad de carne (Öennic y Kaya, 2004).

2.6. Impacto en la calidad de la carne

Actualmente, la calidad de la carne es un tema importante y crítico para la industria (Ponnampalam y col., 2017). En bovinos, uno de los principales defectos de calidad es el corte obscuro, condición que genera rechazo por el consumidor, además de que su elevado pH reduce la vida de anaquel (McVeigh y Tarrant, 1982). Dado que el consumidor rechazará cualquier desviación relacionada con el color de la carne, la prevención de este defecto de calidad es un aspecto crucial en la industria cárnica mundial, por lo que a nivel comercial el registro de pH de la canal 24 horas *post-mortem* es una práctica rutinaria y en programas de aseguramiento de la calidad cárnica, dicho valor funciona como indicador de bienestar animal y de calidad (Villaruel y col., 2001). El valor de pH límite 24 horas *post-mortem* varía entre 5.8 y 6.2, debido a que con estos valores es más probable obtener cortes oscuros y defectos de calidad como la carne oscura, firme y seca (Ponnampalam y col., 2017). Diferentes valores de pH (entre 5.8 y 6.2) han sido utilizados en estudios científicos como puntos de corte como

indicadores de calidad de carne (Lomiwes y col., 2013; Miranda y col., 2009; Ferguson y col., 2001; Apple y col., 2006; Mach y col., 2008).

La calidad de la carne va a estar determinada por procesos bioquímicos y cambios estructurales que ocurren en el músculo durante las primeras 24 horas *post-mortem*. La tasa de degradación del glucógeno una vez que el animal ha muerto influye directamente en el último valor de pH, por lo que la concentración de glucógeno muscular con la que el bovino llega al desangrado será un factor importante en la presentación o no de carne oscura (Ponnampalam y col., 2017). A nivel bioquímico, la causa de los cortes oscuros está asociada a bovinos que son desangrados con bajos niveles de glucógeno muscular, lo que genera una baja concentración de lactato después de su muerte al disminuir el sustrato disponible para la glucólisis anaeróbica *post-mortem*, único mecanismo homeostático disponible para el músculo anóxico (Amtmann y col., 2006). La cantidad de glucógeno con la que el bovino es desangrado conduce a la acidificación *post-mortem* del músculo, cuando dicha acidificación tiene un pH menor a 5.7 la mioglobina puede mantener su oxigenación y conferir el color rojo brillante característico de la carne que es el preferido por los consumidores (Tarrant, 1989). El músculo deberá tener al menos 57 μ moles de glucógeno disponible por gramo de músculo para lograr una acidificación de la canal menor a 5.7 veinticuatro horas *post-mortem* (Tarrant, 1989). Es sabido que un pH superior a seis 24 horas *post-mortem* genera cortes oscuros, incrementa la capacidad de retención de agua, disminuyen la palatabilidad y facilitan el crecimiento bacteriano reduciendo la vida de anaquel (Mach y col., 2017; Ponnampalam y col., 2017). En ese sentido, la reducción de glucógeno dependerá de la intensidad con la que el bovino experimenta su estancia en el rastro, algunos de los factores estresantes causantes de dicha reducción del glucógeno son: manejo, tiempo y condiciones predominantes durante el transporte al rastro, clima, mezcla de animales en el rastro, fatiga, espera *ante-mortem* y ambiente novedoso en el rastro (Mach y col., 2008).

Algunas características intrínsecas del animal predisponen a la presencia de cortes oscuros 24 horas después de su muerte son: raza, sexo, edad y peso. Los *Bos indicus* han sido asociados con cortes oscuros por su temperamento reactivo (Loredo y col., 2018). Los cortes oscuros también están relacionados con bovinos lesionados, enfermedades subclínicas, mala nutrición, entre otras cosas (Scanga y col., 1998; Schneider y col., 2007; Mach y col., 2008). Por lo tanto, un bovino con alteraciones podales tendrá dificultades para hacer frente a los

estímulos adversos inherentes al estrés *ante-mortem*, además, el dolor le impedirá efectuar una respuesta homeostática que a través del descanso permita el reabastecimiento de glucógeno por lo que será más susceptible de agotar sus reservas antes de la muerte aumentando la probabilidad de presentar problemas de corte oscuro.

3. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, se ha documentado que los procesos logísticos y de manejo previos a la matanza suponen un marcado estrés en los animales (Spinka, 2012) generando pérdidas económicas que afectan a la industria ganadera mundial (Ingenbleek y col., 2013). Un bovino lesionado experimentará de manera más intensa su paso por el rastro y aquellos que sufren cojeras serán difíciles de manejar debido al dolor que sienten al desplazarse y al estar de pie, por lo que el costo biológico en estos bovinos será mayor con la inherente repercusión económica derivada de problemas de calidad de carne. Lo anterior ha sido ampliamente estudiado en bovinos productores de leche donde la revisión y recorte de la pezuña son prácticas habituales (Shearer y Van Amstel, 2013) mientras que en bovinos productores de carne las alteraciones podales son un tema poco estudiado por su baja prevalencia (Cozzi y col., 2013). En la logística productiva de los sistemas de engorda es impráctico revisar las pezuñas motivo por el cual se subestima su efecto en el bienestar animal y la economía del productor (Brujinis y col., 2012). Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de describir con precisión el fenómeno, identificando los factores asociados con las alteraciones podales en el entendido de que un bovino lesionado representará mayor tiempo de manejo, gasto en tratamientos, menor ganancia de peso y en los casos más severos la muerte (Miskimins, 2002). Dado que la evaluación de la pezuña supone un manejo estresante e invasivo en las unidades de producción, la inspección *post-mortem* a nivel de rastro representa la mejor oportunidad para analizar su causalidad y su papel como indicador clave de bienestar animal (Grandin, 2017). El efecto de las condiciones productivas y la logística *ante-mortem* en la salud de la pezuña podría ser revelado a través del presente estudio.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterizar y validar como indicador no invasivo de bienestar animal las lesiones podales *post-mortem* en bovinos procesados en un rastro TIF del estado de Durango, además de identificar posibles factores de riesgo asociados.

4.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto que las variables distancia recorrida, tipo de vehículo, tiempo de viaje, sistema productivo, sexo, edad y categoría comercial tienen sobre la salud de la pezuña.
- Registrar la proporción de lesiones podales pélvicas y torácicas del lado izquierdo del bovino inmediatamente después de ser desprendidas en la línea de matanza.
- Analizar el efecto de las alteraciones podales en el pH de la canal 24 horas *post-mortem*.

5. HIPÓTESIS

El nivel de bienestar en la vida productiva del bovino, así como durante sus etapas *ante-mortem* están relacionadas con la prevalencia y distribución de alteraciones podales, las cuales al ser caracterizadas pueden funcionar como un indicador no invasivo de bienestar animal y una herramienta para predecir valores de pH elevados 24 horas *post-mortem*.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

El tipo de estudio fue observacional descriptivo y se realizó en el rastro TIF N° 546 ubicado en la ciudad de Victoria de Durango, capital del Estado de Durango en la región noroeste del país (24°09'37.8"N 104°30'19.3"W). Los datos fueron colectados en el período de febrero a junio 2018 y corresponden a 100 jornadas y un total de 1040 bovinos a partir de los cuales se obtuvieron 2080 pezuñas 1040 torácicas y 1040 pélvicas. El tipo de muestreo fue no probabilístico de sujetos disponibles.

6.1 Escenario Geográfico

El estado de Durango está integrado por 39 municipios y colinda con 5 estados: al Norte con Chihuahua y Coahuila, al Sur con Nayarit, al Este con Zacatecas y al Oeste con Sinaloa, (Figura 9). Durango tiene ecosistemas diversos debido a su amplia superficie y a su relieve caracterizado por sierras, llanuras y mesetas; el 54% del estado presenta climas secos y semi-secos donde se favorece la producción en sistemas de pastoreo extensivos y la engorda en sistemas intensivos mientras que el 46% del estado presenta climas cálidos y templados húmedos en donde prevalecen los sistemas de producción lechera. Su temperatura media anual es de 17° C, sin embargo, en los meses de mayo y junio se alcanzan temperaturas de hasta 31° C. Tiene una altura promedio de 1,890 metros sobre el nivel del mar y las lluvias se presentan en verano, principalmente en los meses de julio y agosto con una precipitación media de 500 mm anuales (INEGI, 2015).



Figura 8 Rastro TIF N° 546. El rastro recibe animales provenientes de sistemas extensivos, engordas intensivas y de sistemas de producción de leche.



Figura 9 Mapa de Durango. Bovinos procedentes de Durango, Coahuila, Chihuahua y Sinaloa son enviados al rastro TIF N° 546 (tomado de <http://www.map-of-mexico.co.uk>).

6.2. Descripción del Rastro TIF estudiado

La operación del rastro TIF N° 546 es de Lunes a Viernes en un horario de 8:30 am a 15:00 pm con una capacidad mensual instalada de 9, 000 bovinos. Al llegar al rastro los bovinos son descargados del vehículo mediante la rampa de descarga, la cual es de concreto con ranuras antiderrapantes y está conectada con un pasillo curvo de 4 metros de ancho con cuadrícula antiderrapante del mismo material que conduce a los animales hacia los corrales de espera.

Los corrales de espera son 24 con una dimensión de 7 m de ancho por 10 m de largo cada uno, con techo de lámina galvanizada, piso de concreto y 1 bebedero para cada 2 corrales, con agua fresca que se ofrece *ad-libitum*. Respecto a la alimentación, no se provee a menos que el dueño lo solicite y únicamente cuando los animales pernoctan. Para conducirlos hacia el cajón de aturdimiento se dispone de un pasillo que conduce a 3 “mangas de manejo” donde los animales esperan antes de pasar a un pasillo común; durante el traslado de los corrales de espera a el cajón de aturdimiento es utilizado un arreador eléctrico. El cajón de aturdimiento mide 2 m de largo por 1.80 m de alto y 0.80 m de ancho, tiene sistema automático de fijación de cabeza, la superficie es de acero inoxidable sin antiderrapante por lo que frecuentemente los bovinos pierden el equilibrio. El aturdimiento es realizado con una pistola neumática de perno cautivo (modelo USSS-1 JARVIS®). Una vez aturdidos los bovinos son izados del miembro pélvico derecho para ser desangrados y transferidos a través de un riel a la línea de producción donde son desprendidos los miembros torácicos y pélvicos a nivel de la articulación carpo-metacarpiana y tarso-metacarpiana respectivamente, se remueven vísceras, piel y cabeza finalizando con la división de la canal para obtener dos medias canales que pasan a la sala de enfriamiento rápido y posteriormente a la cámara de refrigeración.

6.3 Características de la población estudiada

Los datos referentes al sexo, edad, categoría comercial, sistema productivo, distancia recorrida al rastro, tipo de vehículo utilizado y tiempo de viaje fueron proporcionados por el Departamento de Calidad del rastro.

6.4. Protocolo de evaluación y metodología

Se evaluaron las siguientes lesiones que la literatura reporta con mayor prevalencia en bovinos productores de leche (Solano y col., 2016) y en bovinos productores de carne: defecto de conformación, fisuras y traumatismos, úlcera de la suela y el talón, hemorragias en la suela, enfermedad de la línea blanca y doble suela (Magrin, 2018):

Para el análisis se dividió la pezuña en 4 áreas de acuerdo a la división esquemática del Comité Internacional de Cojeras 2008, anexando el área correspondiente a los metacarpos y metatarsos para el análisis de las heridas en piel como se observa en las Figuras 10 y 11. Para la categorización de las lesiones tomó como base el protocolo desarrollado por Greenough y col., 1997.

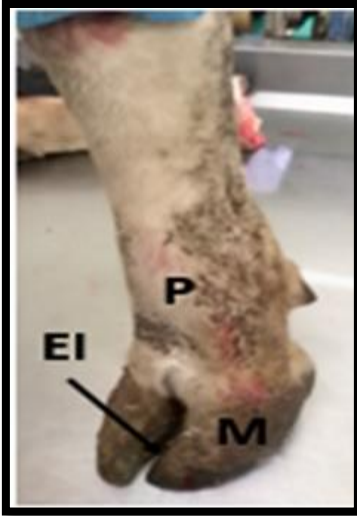


Figura 10. Pezuña retirada después del desangrado, vista anterior. P: piel que recubre metatarsos o metacarpos y la falanges proximal y media. M: muralla. EI: espacio interdigital.



Figura 11. Pezuña retirada después del desangrado vista posterior. T: talones. EI: espacio interdigital. S: suelas. LB: línea blanca.

Se profundizó en el registro de la frecuencia y proporción de alteraciones podales de miembros torácicos y pélvicos del lado izquierdo como en el estudio de Solano y col. 2016, dado que la evidencia bibliográfica no registra diferencias significativas entre las lesiones de miembros derechos o izquierdos (Magrin y col., 2018).

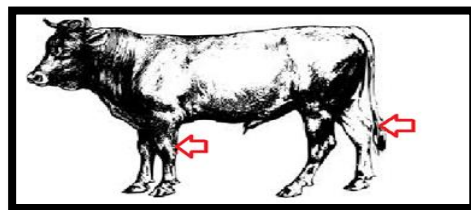


Figura 12. Zona de separación de miembros torácicos y pélvicos (tomado de <https://www.animales.website/el-toro/>).

La evaluación iniciaba en el cajón de aturdimiento con la identificación del bovino; el personal marcaba con un número el lomo del bovino, esta identificación era utilizada para identificar las extremidades analizadas y ubicar las canales correspondientes. Una vez aturdido el bovino era izado y desangrado; el tiempo entre aturdimiento y desangrado era de 40 segundos aproximadamente, 15 segundos inmediatamente después de iniciar el desangrado el personal operario retiraba el miembro torácico izquierdo a partir de la articulación tarso-metatarsiana después se hacía lo propio con el miembro pélvico izquierdo. Una vez obtenidas e identificadas las pezuñas se procedía con la inspección, sumergiendo el miembro en agua y retirando la materia orgánica con un cepillo para poder observarlo. Posteriormente se apoyaba la pezuña en una superficie recta para su inspección mediante los siguientes pasos:

- Verificación de la conformación (simetría de pezuñas, altura de talones, largo de murallas, abertura interdigital y presencia de defectos de crecimiento)
- Integridad de la piel en metatarsos y metacarpos.
- Inspección de la muralla
- Inspección de la suela.
- Inspección del talón y la línea blanca.

Es importante mencionar que el estudio presenta una metodología que permite mantener un reconocimiento y ubicación espacial de los datos de cada animal desde la granja hasta la cámara de refrigeración para analizar individualmente los factores predisponentes a lesiones podales y defectos de calidad en la carne.

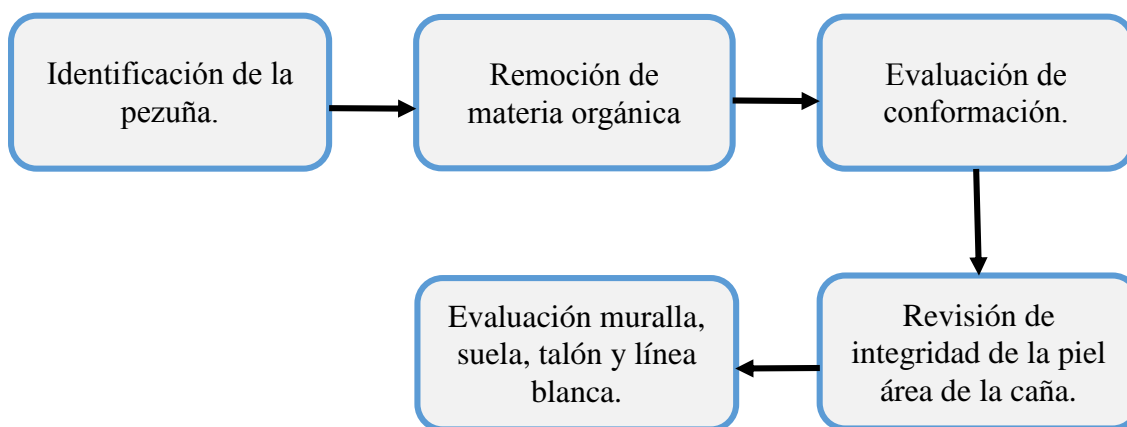


Figura 13. Metodología evaluación de pezuñas.

6.5 Escalas de evaluación.

Como se muestra en la Tabla 3, se diseñó una escala de evaluación con tres categorías (escala original) para el análisis y la categorización de la salud e integridad de las pezuñas. Con base en los datos obtenidos a partir de la escala de evaluación original se analizó la distribución de los resultados en dos escalas binarias más desarrolladas para analizar con mayor precisión las posibles interacciones cuando las lesiones se presentaban.

Tabla 2 Descripción de escalas de evaluación de salud e integridad podales.

Tipo de escala	Descripción de la escala
Escala original: 3 categorías	Ausencia (0): ninguna lesión.
	Lesión leve (1): fisuras, traumatismos o hemorragias con longitud menor a 5 cm y defectos de crecimiento menores a 2 cm.
	Lesión severa (2): fisuras, traumatismos o hemorragias con longitud mayor a 5 cm y defectos de crecimiento mayores a 2 cm.
Escala binaria: presencia/ausencia	Ausencia: ninguna lesión.
	Presencia: lesiones leves y severas de la escala original fueron incluidas en esta clasificación.
Escala binaria: grave/no grave	No grave: ausencia de lesión y lesiones leves de la escala original fueron incluidas en esta clasificación.
	Lesión grave: únicamente las lesiones severas de la escala original fueron incluidas en esta clasificación.

6.6 Medición Ph.

El protocolo de medición de pH se llevó a cabo bajo la metodología de Gotoh y col., 2018. La lectura de pH se realizó 24 horas *post-mortem* en los mismos animales que fueron analizados en la línea de matanza, para lo cual se utilizó un potenciómetro HANNA modelo HI 99163, que fue calibrado con soluciones buffer con pH de 4 a 7. El punzón fue introducido 3 centímetros en el centro del músculo *longissimus* entre el sexto y séptimo espacio intercostal, calibrando con las soluciones buffer cada 3 mediciones.

6.7 Análisis estadístico

Los datos fueron procesados en el programa “Paquete estadístico para las ciencias sociales” (SPSS) ® 20 con el que se calculó la estadística descriptiva y la prueba de χ^2 para probar la hipótesis nula considerando los resultados estadísticamente significativos cuando $p \leq 0.05$. La relación de la severidad de una pezuña torácica con la correspondiente pezuña pélvica fue analizada mediante el estadístico D de Somers que mide la fuerza de la relación entre 2 variables ordinales en un rango de -1 a 1, dando el valor de 1 a una relación positiva fuerte, 0 para variables no relacionadas y -1 para una relación negativa (Somers, 1962). El análisis epidemiológico se realizó con el programa WinEpi de la Universidad de Zaragoza © 2006.

7. RESULTADOS

7.1. Características de la población estudiada.

En la tabla 4 se pueden observar las características de los bovinos participantes en el estudio. Fueron 7 las variables analizadas y corresponden a los datos logísticos del sistema de trazabilidad del rastro.

Tabla 3. Características de la población estudiada (n=1040).

		Frecuencia (n= 1040)	Porcentaje
Sexo	Hembra	497	52.2
	Macho	543	47.8
Edad	<24 meses	186	17.8
	>24 meses	854	82.2
Categoría comercial	Vaquilla	26	2.5
	Vaca	471	45.3
	Torete	160	15.4
	Toro	383	36.8
Sistema productivo	Lecheros	264	25.4
	Engorda	362	34.8
	Pradera	414	39.8
Distancia al rastro	0 a 50 km	374	36
	51 a 100 km	125	12
	101 a 150 km	335	32.2
	151 a 200 km	32	3.1
	>200 km	174	16.7
Tipo de vehículo	Remolque	470	45.2
	Cuello de ganso	255	24.5
	Tráiler	315	30.3
Tiempo de viaje	< =2 h	834	80.2
	> 2 h	206	19.8

7.2 Distribución de las lesiones

La Tabla 4 muestra el análisis de la distribución de las lesiones estudiadas a en el total de los bovinos (1040) y total de miembros (2080) especificando también proporciones para miembros torácicos y pélvicos. El defecto de conformación fue la lesión con mayor porcentaje tanto en términos del total de individuos como en miembros torácicos y pélvicos (76.54% y 57.21% respectivamente), seguido por la lesión de muralla en el total de individuos (39.13%) y en miembros torácicos y pélvicos (24.04%). La lesión de piel ocupa el tercer puesto en total de bovinos y total de miembros respectivamente (29.33 % y 16.68%). En el total de bovinos la lesión de suela mostró una proporción de 24.71% y la lesión de talón de 21.35% así como 15.87% y 13.75% en total de miembros. Las lesiones con menor porcentaje fueron la línea blanca y la doble suela teniendo en ambos casos menos del 11%. Respecto a la diferencia

entre los porcentajes de lesiones en miembros torácicos y miembro pélvicos se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las lesiones: defecto de conformación ($p \leq 0.05$), lesión de muralla ($p \leq 0.05$) y lesión de piel ($p \leq 0.05$). Se encontró una mayor proporción de miembros torácicos con defectos de conformación (69.23%) que en miembros pélvicos (45.19%). A su vez, la lesión de muralla y de piel afectaron en mayor proporción al miembro pélvico (27.79% y 19.13% respectivamente) en comparación a lo encontrado en miembro torácico (20.29% y 14.23%). En el resto de las lesiones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0.05$).

Tabla 4. Porcentaje de lesiones en miembros torácicos y pélvicos de bovinos (n = 1040).

Lesión	Total animales (1040)		Miembros (n = 2080)						P
	F.	(%)	Total de miembros (n = 2080)		Torácico (n = 1040)		Pélvico (n = 1040)		
			F.	(%)	F.	(%)	F.	(%)	
Defecto de conformación	796	76.54%	1190	57.21%	720	69.23%	470	45.19%	0.000
Lesión de muralla	407	39.13%	500	24.04%	211	20.29%	289	27.79%	0.000
Lesión piel.	305	29.33%	347	16.68%	148	14.23%	199	19.13%	0.003
Lesión suela	257	24.71%	330	15.87%	168	16.15%	162	15.58%	0.719
Lesión talón	222	21.35%	286	13.75%	149	14.33%	137	13.17%	0.445
Lesión línea blanca	114	10.96%	129	6.20%	66	6.35%	63	6.06%	0.785
Lesión doble suela	36	3.46%	40	1.92%	24	2.31%	16	1.54%	0.202

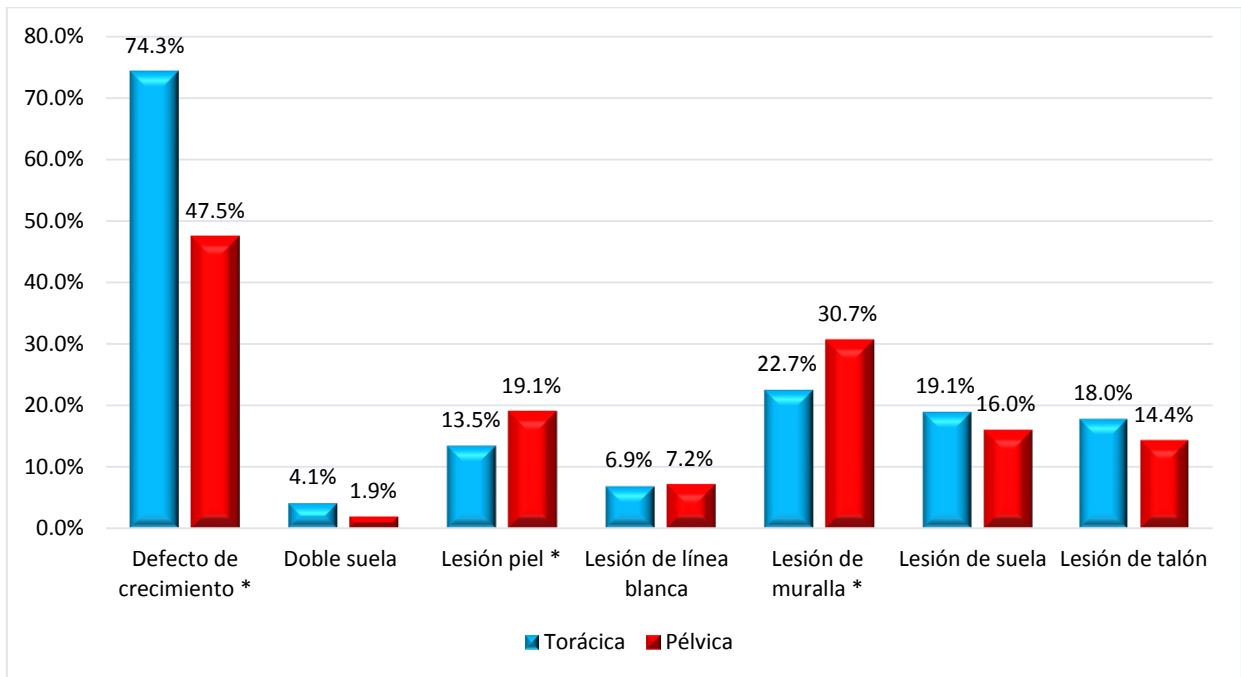
F: frecuencia. %: porcentaje. P: prueba de χ^2 , valores significativos cuando $p \leq 0.05$. La frecuencia fue determinada a través del criterio presencia/ausencia.

7.3. Lesiones torácicas y pélvicas por sistema productivo.

En las Figuras 14, 15 y 16 se observa el porcentaje de cada lesión en pezuñas torácicas y pélvicas dependiendo del sistema productivo del que provenían los bovinos. En los tres sistemas productivos se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de las pezuñas con defecto de conformación considerando la localización anatómica (torácica o pélvica) afectando en mayor medida al miembro torácico ($p \leq 0.05$). A su vez, la lesión de piel únicamente presentó diferencias significativas en los animales de engorda y los lecheros ($p \leq 0.05$) siendo más frecuente en el miembro pélvico. También en el miembro pélvico, la lesión de muralla presentó porcentajes mayores a 24 % en los animales de engorda y sabana ($p \leq 0.05$).

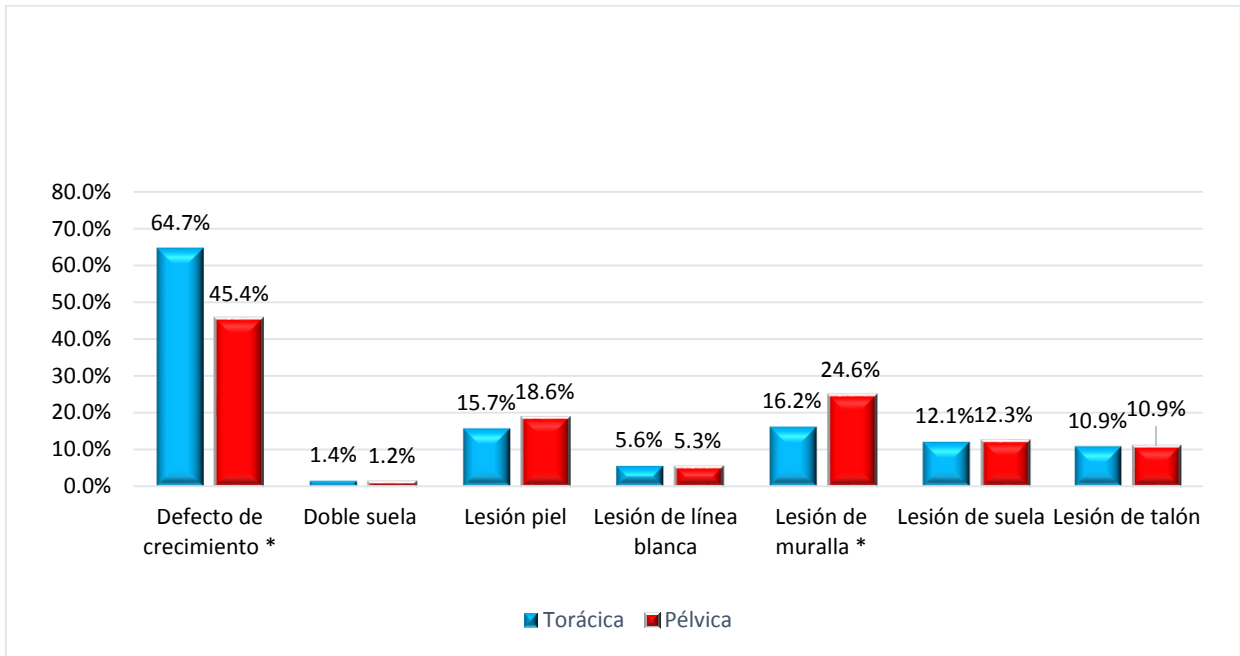
El defecto de conformación fue la lesión con el mayor porcentaje en los tres sistemas productivos encontrando la mayor proporción en los bovinos de engorda: 74.3% torácica y 47.5% pélvica. La lesión de muralla afectó en mayor medida a los bovinos de engorda y bovinos lecheros presentando porcentajes que fluctúan entre 22.7% hasta 30.7%, en el caso de los animales de sabana únicamente el miembro pélvico presentó una prevalencia alta en esta lesión (24.6%). En las lesiones de suela y talón se observaron porcentajes que fluctúan entre 15% y 20% en sistemas productivos de engorda y de leche observándose para ambos miembros proporciones de entre el 15% y el 20%.

Figura 14. Porcentaje de lesiones en miembros torácicos y pélvicos de bovinos al sacrificio procedentes de sistemas productivos de engorda (n= 362).



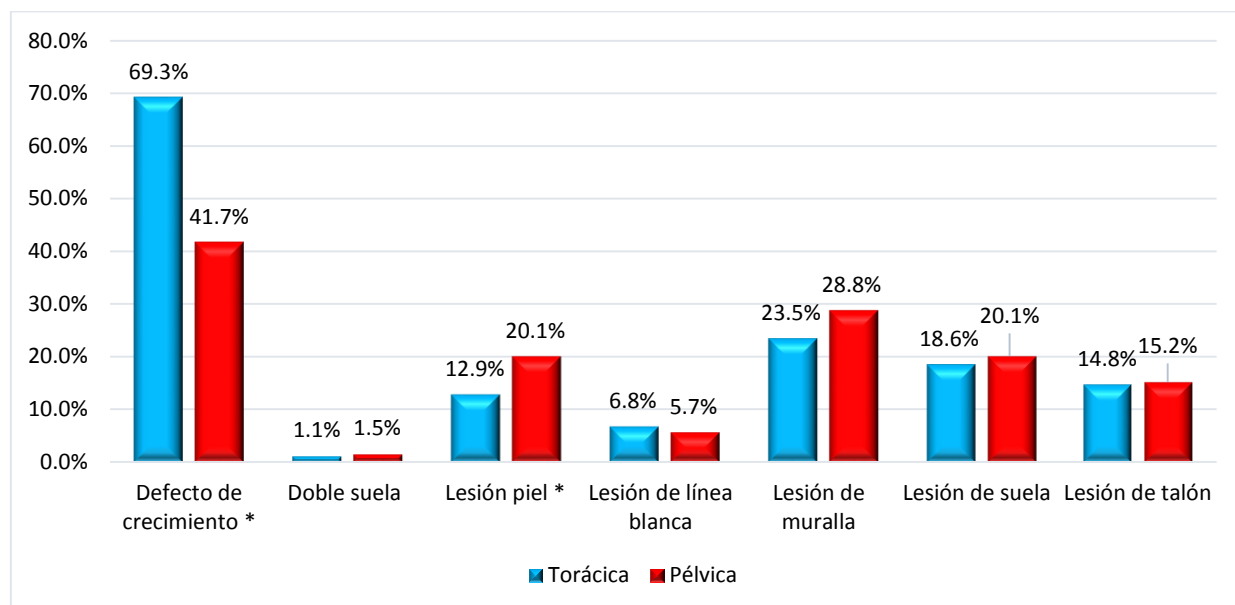
*valores significativos cuando $p \leq 0.05$, en la prueba de χ^2 .

Figura 15. Porcentaje de miembros torácicos y pélvicos de bovinos en sistemas productivos de sabana (n= 414).



*valores significativos cuando $p \leq 0.05$, en la prueba de χ^2 .

Figura 16. Porcentaje de miembros torácicos y pélvicos de bovinos en sistemas productivos lecheros (n= 414).



*valores significativos cuando $p \leq 0.05$, en la prueba de χ^2 .

7.4. Influencia de la severidad entre las lesiones de pezuñas del mismo individuo

En la Tabla 5 se observa el grado de asociación entre las variables de severidad en pezuña torácica y severidad en pezuña pélvica determinado individualmente en el total de animales y segmentado por sistema productivo. La fuerza de la asociación fue calculada mediante el estadístico D de Somers. Sólo los valores de Somers D mayores a 0.200 y con una $p \leq 0.05$ fueron considerados significativos. Un valor de Somers D de 0.200 indica una asociación aún débil, sin embargo, revela dicha asociación. El valor de Somers D para el defecto de crecimiento indica que existe asociación estadísticamente significativa entre la severidad del miembro torácico y la del miembro pélvico tanto en el total de animales ($D=0.338$, $p \leq 0.001$) como en los tres sistemas productivos: leche ($D= 0.402$, $p \leq 0.001$), engorda (0.306 , $p \leq 0.001$) y sabana ($D= 0.324$, $p \leq 0.001$). Para la lesión de talón también se observan valores D estadísticamente significativos en el total de animales ($D= 0.367$, $p \leq 0.001$), en los animales de sistemas lecheros ($D= 0.428$, $p \leq 0.001$), de engorda ($D= 0.404$, $p \leq 0.001$) y de sabana ($D= 0.262$, $p \leq 0.001$). La lesión de suela mostró valores significativos en el total de animales

(D= 0.341, $p \leq 0.001$), en los animales lecheros los cuales presentaron la asociación más fuerte en esta lesión (D= 0.494, $p \leq 0.001$) y los animales provenientes de engordas (D= 0.327, $p \leq 0.001$). La lesión de muralla únicamente presentó una asociación estadísticamente significativa en los animales lecheros (D= 0.233, $p \leq 0.001$).

Tabla 2. Relaciones de Somers D para la asociación de la severidad entre la pezuña pélvica y la torácica en el total de bovinos y por sistema productivo.

Lesión	Total	Leche	Engorda	Sabana
	Valor D	Valor D	Valor D	Valor D
Defecto conformación	0.338**	0.402**	0.306**	0.324**
Lesión de muralla	0.19**	0.233**	0.149*	0.192**
Lesión piel	0.101*	0.098	0.064	0.138
Lesión de suela	0.341**	0.494**	0.327**	0.199*
Lesión de talón	0.367**	0.428**	0.404**	0.262**
Lesión de línea blanca	0.179**	0.192	0.175	0.173
Lesión de doble suela	0.185	-0.013	0.161	0.355

Los valores D sombreados son superiores a 0.200 y con * $p \leq 0.01$ y ** $p \leq 0.001$.

7.5. Efecto de la logística *ante-mortem* en la frecuencia de las lesiones

El efecto de las variables logísticas en el comportamiento de las lesiones fue analizado mediante tres escalas. Se encontraron diferentes resultados dependiendo de la escala observada y únicamente se muestran aquellos con valores estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$). Se utilizó el valor de Chi cuadrada y el estadístico exacto de Fisher para determinar el efecto de las variables: sexo, edad, categoría comercial, distancia recorrida, sistema productivo, tiempo de viaje y tipo de vehículo en la proporción de lesiones torácicas y pélvicas. El defecto de conformación presentó mayor sensibilidad en la escala grave-no grave ($p \leq 0.05$). Mientras que las lesiones de muralla, suela y doble suela fueron explicadas mediante la escala presencia-ausencia ($p \leq 0.05$). Por último la lesión de talón fue analizada mediante la escala de severidad (sin lesión, lesión leve y lesión grave) ($p \leq 0.05$). En las Tablas

6 a 11 se observa la frecuencia y proporción de las lesiones en función de las variables logísticas *ante-mortem* analizadas en este estudio. Únicamente se muestran las interacciones estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). No se observó influencia significativa en la proporción de pezuñas con lesión de piel y de línea blanca ($p > 0.05$). Al analizar el efecto de la categoría comercial únicamente se observa influencia en el porcentaje torácico del defecto de crecimiento y la lesión de muralla ($p \leq 0.05$). Como se observa en el cuadro 5, del total de animales con defecto de conformación grave (203), el mayor porcentaje corresponde a vacas (44%) seguido por los toros (30.54%), mientras que el 24.62% de los casos corresponden a toretes y vaquillas. La lesión de muralla se observó en mayor proporción en vacas y toros 40.28% y 36.02% respectivamente, mientras que el 23.69% de los bovinos con esta lesión corresponden a toretes y vaquillas.

Tabla 3. Efecto de la categoría comercial en la frecuencia y proporción de lesiones post-mortem en bovinos.

Categoría comercial		Vaquilla	Vaca	Torete	Toro	Total (1040)
D. conformación*	NG	19 (2.27%)	380 (45.40%)	117 (13.98%)	321 (38.35%)	837 (80.48%)
	G	7 (3.44%)	91 (44%)	43 (21.18%)	62 (30.54%)	203 (19.52%)
	A	13 (1.57%)	386 (46.56%)	123 (14.84%)	307 (37.03%)	829 (79.7%)
	P	13 (6.16%)	85 (40.28%)	37 (17.53%)	76 (36.02%)	211 (20.3%)
Torácica						
L. muralla**						

NG: no grave, G: Grave, A: ausencia, P: presencia. *valor de $p < 0.05$, ** valor de $p < 0.001$.

El efecto de la distancia recorrida se muestra en la Tabla 7 donde se observa una mayor proporción de pezuñas torácicas con defecto de conformación en distancias de 1 a 50 km (32.02%), seguidos por los recorridos de 101 a 150 km (29.56%) y con la menor proporción el trayecto de 151 a 200 km (5.91%). En la lesión de muralla del miembro torácico el patrón es diferente teniendo la mayor proporción los trayectos de 101 a 150 km (35.54%), seguidos por la distancia de 1 a 50 km (31.28%), trayectos superiores a 200 km (21.33%) y por último

las distancias de 151 a 200 km (0.95%). En la lesión de suela el trayecto de 101 a 150 km tuvo el mayor efecto (36.9%), seguido por distancias de 1 a 50 km (31.55%), distancias 51 a 100 km y por último 151 a 200 km (7.14% cada una). Por último, el efecto de la distancia recorrida tuvo efecto en la lesión de talón tanto torácica como pélvica, siendo más aparente en la distancia de 101 a 150 km (38.25% torácico y 38.69% pélvico), seguida por la distancia de 1 a 50 km (28.86% torácica y 34.30% pélvica), y por último para esta lesión las distancias de 51 a 100 km y de 151 a 200 km con valores fluctuantes entre 5 y 8%.

En la Tabla 8 se observa el efecto del tipo de vehículo. En los animales transportados en remolque el defecto de conformación tuvo la mayor proporción, tanto en pezuñas torácicas como en pélvicas: 38.91% y 41.37% respectivamente, a diferencia de los bovinos transportados en tráiler (29.06% torácica y 25% pélvica). Respecto a la lesión de suela la mayor proporción se encontró en las pezuñas torácicas de los animales transportados en remolque y tráiler: 35.71% para ambos vehículos. A su vez, 35.18% de los bovinos tuvieron lesiones de suela en el miembro pélvico seguidos por los animales transportados en cuello de ganso con 30.86%. La lesión de talón en el miembro torácico osciló entre 32% a 34% en los tres tipos de vehículo, a diferencia del miembro pélvico donde en el remolque y el cuello de ganso 37% de los animales tenían talones lastimados seguidos por los bovinos transportados en tráiler (24.81%). La lesión de muralla en miembros pélvicos se presentó en 42.21% de los animales transportados en remolque, en 34.60% de los transportados en tráiler y 23.19% de los transportados en cuello de ganso .

Tabla 4. Efecto de la distancia recorrida en la frecuencia y proporción de lesiones en pezuñas torácicas y pélvicas de bovinos post-mortem.

		1-50 km	51-100 km	101- 150 km	151-200 km	>200 km	Total	
<i>Torácica</i>	D. conformación*	N	309	98	275	20	135	837
		G	(36.92)	(11.71)	(32.85)	(2.39%)	(16.13%)	(80.5%)
	L. muralla**	A	308	102	260	30	129	829
		P	(37.15)	(12.3%)	(31.36)	(3.62%)	(15.56%)	(79.7%)
	L. suela**	A	66	23	75	2	45	211
		P	(31.28)	(10.9%)	(35.54)	(0.95%)	(21.33%)	(20.3%)
	L. talón**	A	321	112	273	20	146	872
		P	(36.81)	(12.84)	(31.31)	(2.29%)	(16.74%)	(83.8%)
	L. talón***	A	53	13	62	12	28	168
		P	(31.55)	(7.74%)	(36.9%)	(7.14%)	(16.67%)	(16.2%)
	L. talón***	A	331	113	278	21	148	891
		P	(37.15)	(12.68)	(31.21)	(2.36%)	(16.61%)	(95.7%)
<i>Pélvica</i>	L. talón***	A	43	12	57	11	26	149
		P	(28.86)	(8.05%)	(38.25)	(7.38%)	(17.45%)	(14.3%)
L. talón***	A	A	327	117	282	21	156	903
		P	(36.21)	(12.96)	(31.23)	(2.32%)	(17.27%)	(86.8%)
L. talón***	P	A	47	8	53	11	18	137
		P	(34.30)	(5.84%)	(38.69)	(8.03%)	(13.14%)	(13.2%)

NG: no grave, G: Grave, A: ausencia, P: presencia. *valor de $p < 0.05$, ** valor de $p < 0.001$, *** valor de $p < 0.0001$.

Tabla 5. Efecto del tipo de vehículo en la frecuencia y proporción de lesiones en pezuñas torácicas y pélvicas de bovinos post-mortem.

		Remolque	Cuello de ganso.	Tráiler	Total (1040)		
<i>Torácica</i>	D. conformación*	NG	391 (46.71%)	190 (22.7%)	256 (30.58%)	837 (80.5%)	
		G	79 (38.91%)	65 (32.02%)	59 (29.06%)	203 (19.5%)	
	L. suela *	A	410 (47.02%)	207 (23.74%)	255 (29.24%)	872 (83.8%)	
		P	60 (35.71%)	48 (28.57%)	60 (35.71%)	168 (16.2%)	
	L. talón**	A	421 (47.25%)	205 (23%)	265(29.74%)	891 (85.7%)	
		P	49 (32.88%)	50 (33.56%)	50 (33.56%)	149 (14.3%)	
	<i>Pélvica</i>	D. conformación*	NG	422 (45.67%)	216 (23.38%)	286 (30.95%)	924 (88.8%)
			G	48 (41.37%)	39 (33.62%)	29 (25%)	116 (11.2%)
		L. muralla **	A	348 (46.34%)	188 (25.03%)	215 (28.63%)	751 (72.2%)
			P	122 (42.21%)	67 (23.19%)	100 (34.60%)	289 (27.8%)
L. suela **		A	415 (47.27%)	205 (23.35%)	258 (29.38%)	878 (84.4%)	
		P	55 (33.95%)	50 (30.86%)	57 (35.18%)	162 (15.6%)	
L. talón***		A	419 (46.40%)	203 (22.48%)	281 (31.12%)	903 (86.8%)	
		P	51 (37.23%)	52 (37.96%)	34 (24.81%)	137 (13.2%)	

NG: no grave, G: Grave, A: ausencia, P: presencia. *valor de $p < 0.05$, ** valor de $p < 0.001$, *** valor de $p < 0.0001$.

En la Tabla 9 se aprecia el efecto del tiempo del viaje y de la edad. Sólo las pezuñas torácicas con defecto de conformación y lesión de muralla mostraron resultados significativos. Los bovinos con tiempos de viaje menores a dos horas tuvieron 74.88 % de lesiones graves de defectos de conformación, seguidos por los recorridos mayores a dos horas con 25.12% de bovinos con lesiones graves para esta lesión. En la lesión de muralla se observa algo similar, mostrando a los animales con recorridos menores a dos horas con 77.72% de bovinos lesionados mientras que los que tuvieron recorridos superiores a dos horas se observó la lesión en 22.27% de los animales. El efecto de la edad sólo fue significativo en el defecto de conformación del miembro torácico, donde el 75.86% de los casos corresponden a animales mayores a 24 meses, mientras que el 24.14% corresponden a animales menores a esa edad.

Tabla 6. Efecto del tiempo de viaje y la edad en la frecuencia y proporción de lesiones de bovinos post-mortem.

Tiempo de viaje	<i>Torácica</i>				Edad	<i>Torácica</i>	
	D. conformación *		L. muralla*			D. conformación**	
	NG	G	A	P		NG	G
< 2 horas	682 (81.48%)	152 (74.88%)	670 (80.82%)	164 (77.72%)	<24 meses	136 (16.25%)	49 (24.14%)
> 2 horas	155 (18.52%)	51 (25.12%)	159 (19.18%)	47 (22.27%)	>24 meses	701 (83.75%)	154 (75.86%)
Total	837 (80.5%)	203 (19.5%)	829 (79.7%)	211 (20.3%)	Total	837 (80.5%)	203 (19.5%)

NG: no grave, G: Grave, A: ausencia, P: presencia. *valor de $p < 0.05$, ** valor de $p < 0.001$, *** valor de $p < 0.0001$.

En la Tabla 10 se observa la influencia del sistema productivo en las lesiones. En las pezuñas torácicas el defecto de conformación se presentó en 42.86% de los animales de engorda, en 33.50% de los animales de sabana y en 23.64% de los animales lecheros. La lesión de muralla en pezuñas torácicas se presentó en 41.48% de los animales de sabana y en 29.31% de los

bovinos provenientes de engordas y sistemas lecheros. La lesión de suela tuvo mayor porcentaje en animales de engorda (41.07% torácica y 35.8% pélvica), mientras que en animales de sabana y lecheros se encontraron porcentajes de hasta 30% en pezuñas torácicas y 35 % en pélvicas. Respecto a la lesión de talón, esta fue modelada con la escala de severidad encontrando en ambos miembros lesiones leves con porcentajes de entre 32 y 35 % para los tres sistemas productivos, mientras que en la proporción de lesiones severas se observa el mayor porcentaje en los animales de engorda (51%), animales de sabana (31.7%) y lecheros (17%).

Tabla 7. Efecto del sistema productivo en la frecuencia y proporción de lesiones en bovinos halladas post-mortem.

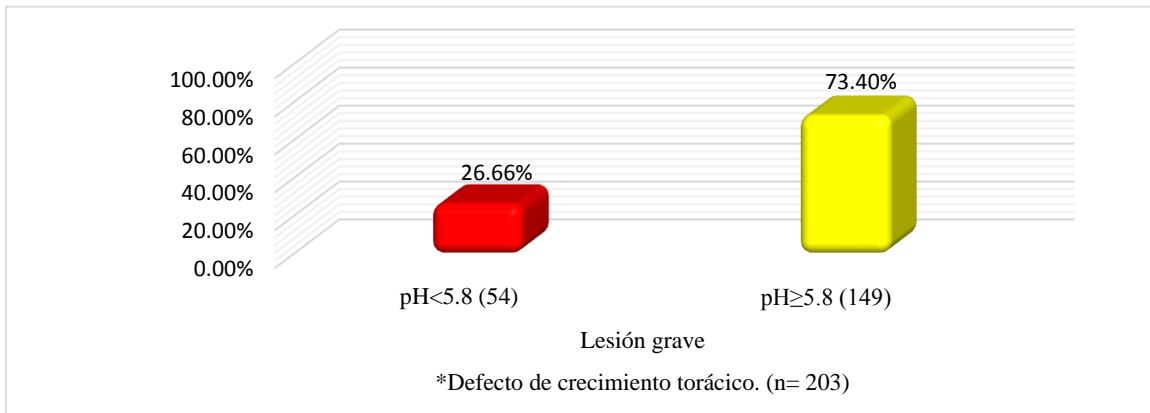
SP.		Engorda	Sabana	Lecheros	Total
D.	NG	275 (32.85%)	346 (41.34%)	216 (25.81%)	837 (80.5%)
	G	87 (42.86%)	68 (33.5%)	48 (23.64%)	203 (19.5%)
L. muralla*	A	345 (35.13%)	390 (39.71%)	247 (25.15%)	982 (94.4%)
	P	17 (29.31%)	24 (41.38%)	17 (29.31%)	58 (5.60%)
L. suela*	A	293 (33.6%)	364 (41.74%)	215 (24.65%)	872 (83.8%)
	P	69 (41.07%)	50 (29.76%)	49 (29.17%)	168 (16.2%)
L. talón*	SL	310 (34.33%)	369 (40.86%)	224 (24.81%)	903 (86.8%)
	LL	31 (32.29%)	32 (33.33%)	33 (34.37%)	96 (9.2%)
	LS	21 (51.22%)	13 (31.71%)	7 (17.07%)	41 (3.9%)
L. suela*	A	304 (34.62%)	363 (41.34%)	211 (24.03%)	878 (84.4%)
	P	58 (35.8%)	51 (31.48%)	53 (32.72%)	162 (15.6%)
Pélvica	SL	310 (34.33%)	369 (40.86%)	224 (24.81%)	903 (86.8%)
	LL	31 (32.29%)	32 (33.33%)	33 (34.37%)	96 (9.2%)
	LS	21 (51.22%)	13 (31.71%)	7 (17.07%)	41 (3.9%)

NG: no grave, G: Grave, A: ausencia, P: presencia. *valor de $p < 0.05$, ** valor de $p < 0.001$, *** valor de $p < 0.0001$.

7.6. Influencia de las lesiones en pezuñas torácicas y pélvicas de bovinos en el valor de pH de la canal 24 horas *post-mortem*

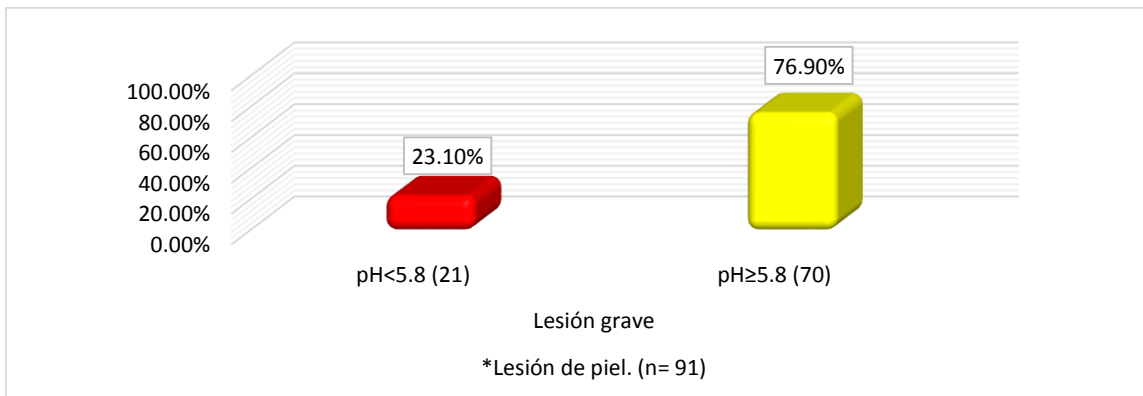
Mediante la prueba estadística de chi-cuadrada se analizó el efecto de las variables logísticas *ante-mortem* en el pH de las canales medido 24 horas *post-mortem*. Del total de la muestra (n= 1040), el 32.7% (340) de las canales presentaron un pH menor a 5.8, mientras que en el 67.3% de las canales (700) se registraron valores de pH mayores a 5.8. Las lesiones que manifestaron una asociación estadísticamente significativa con el pH registrado 24 horas *post-mortem* fueron los defectos graves de conformación en el miembro torácico ($p < 0.05$), lesiones graves de piel en los miembros pélvicos ($p < 0.05$), lesiones graves de muralla en el miembro torácico ($p < 0.05$), presencia de lesiones en suela torácica y pélvica ($p < 0.01$) y presencia de lesiones de línea blanca en miembro torácico ($p < 0.05$). Lo anterior fue representado gráficamente en las figuras 17 a 21, donde las lesiones previamente mencionadas se relacionaron con una mayor proporción de canales con pH superior a 5.8 ($p < 0.05$). Sólo se graficaron los casos en los que se encontró asociación significativa entre la lesión y el incremento correspondiente de pH (mayor a 5.8). No se encontró evidencia estadística significativa de que la lesión de talón ni la doble suela tienen relación con el pH de la canal 24 horas *post-mortem* ($p > 0.05$). En las figuras 17, 18, 19, 20 y 21 se observa con claridad una proporción mayor de canales con pH superior a 5.8 cuando la lesión es grave o está presente, con porcentajes que van desde 73.40% hasta 79.30%. Por el contrario, si la lesión no es grave o no está presente el pH tiende a mantenerse con valores por debajo de 5.8.

Figura 17. Defecto de conformación grave en pezuñas torácicas de bovino y su influencia en el pH de la canal 24 horas post-mortem.



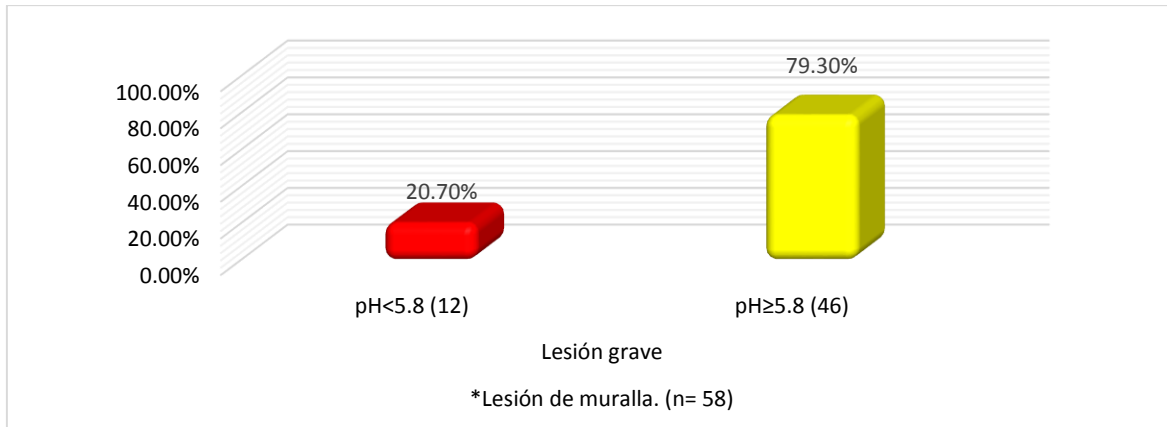
*Valor de $p < 0.05$, prueba de χ^2 .

Figura 18. Lesión de piel grave en pezuñas pélvicas de bovino y su influencia en el pH de la canal 24 horas post-mortem.



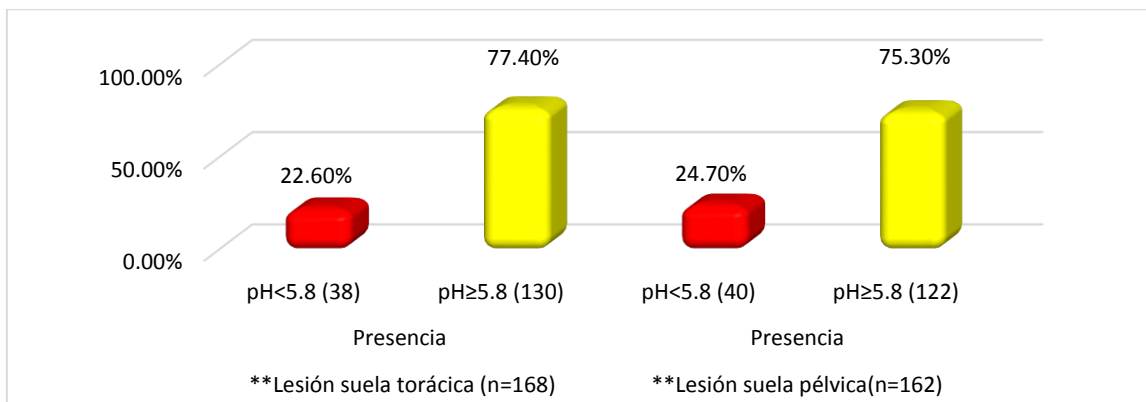
*Valor de $p < 0.05$, **valor de $p < 0.01$, prueba de χ^2 .

Figura 19. Influencia de la lesión de muralla torácica grave en el pH de la canal 24 horas post-mortem.



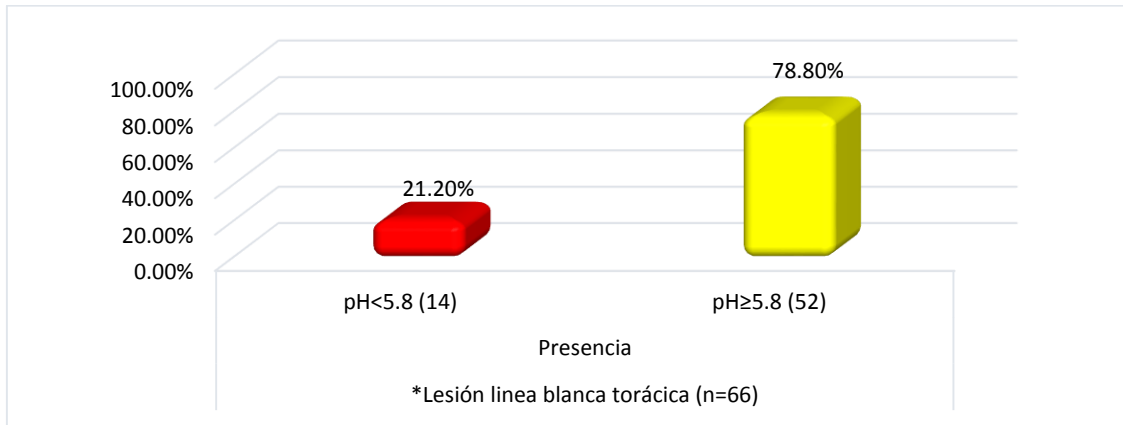
*Valor de $p < 0.05$, **valor de $p < 0.01$, prueba de χ^2 .

Figura 20. Influencia de la presencia de lesión de muralla torácica y pélvica en el pH de la canal 24 horas post-mortem.



*Valor de $p < 0.05$, **valor de $p < 0.01$, prueba de χ^2 .

Figura 21. Influencia de la presencia de lesión de línea blanca torácica y pélvica en el pH de la canal 24 horas post-mortem.



*Valor de $p < 0.05$, prueba de χ^2 .

7.7 Efecto de las variables logísticas *ante-mortem* en el valor de pH de la canal 24 horas *post-mortem*

En las Tablas 11 y 12 se observa el porcentaje de canales con pH inferior y superior a 5.8 y 6 respectivamente 24 horas *post-mortem* considerando factores logísticos *ante-mortem*. En la variable sexo el porcentaje de hembras con pH mayor o igual a 5.8 es mayor que el de los machos (71.4% y 63.5% respectivamente). Al analizar la categoría comercial, las vaquillas tuvieron la mayor proporción de canales con pH mayor o igual a 5.8 (80.8%) del total de vaquillas, seguidas por las vacas con 70.9%. A su vez, el menor porcentaje de bovinos con pH elevado al considerar la categoría comercial fue encontrada en los toretes con 62.4% del total de bovinos de esa categoría. En la variable sistema productivo, la mayor proporción de pH elevado corresponde a los bovinos productores de leche con 76.1%, seguida por los bovinos de engorda con 66.6% y por último los animales de sabana donde sólo el 62.3% obtuvo valores elevados de pH. La distancia recorrida también influyó el valor de pH de la canal. En la distancia de 101 a 150 km se observa la mayor proporción (74.3%) de canales con pH mayor o igual a 5.8, seguida por la distancia de 51 a 100 km (69.6%), y en tercer puesto la distancia más corta 1 a 50 km con 63.9% de canales con pH alto. Los bovinos con recorridos mayores

a 200 km y trayectos de 151 a 200 km presentaron la menor proporción de canales con pH elevado, con 62.6% y 50% respectivamente. En el caso del tiempo, se observa que los bovinos con recorridos menores a 2 horas tuvieron mayor proporción de canales con pH alto comparado con los animales que tuvieron un recorrido con duración menor a dos horas, 68.9% y 60.7% respectivamente. Otra variable que afectó el pH de la canal fue el tipo de vehículo. El 74.5% de los bovinos transportados en cuello de ganso tuvieron un pH mayor o igual a 5.8, seguidos por el tráiler donde el 68.9% de los bovinos que utilizaron este medio de transporte presentaron un pH alto 24 horas después y por último el remolque sencillo donde sólo el 62.3% de los bovinos tuvieron un pH mayor o igual a 5.8 24 horas *post-mortem*. La edad de los bovinos no mostró diferencias estadísticamente significativas respecto al último valor de pH registrado por lo que no se incluye en la Tabla 11 ($p > 0.05$).

Por otro lado, al analizar los datos considerando un pH inferior o superior a 6 se encontraron resultados estadísticamente significativos únicamente para las variables categoría comercial, distancia recorrida y tiempo de viaje ($p \leq 0.05$) como se observa en la Tabla 12. Al analizar la categoría comercial observamos que las vaquillas fueron el grupo con mayor proporción de pH altos (42.3%), seguido por los toretes (26%), las vacas (24%) y con menos proporción de pH alto los toros (20.2%). La distancia recorrida que más pH superiores a 6 registró fue la de 51 a 100 kilómetros (30.4%), seguida por distancia de 101 a 150 kilómetros (25.1%), 1 a 50 kilómetros (22.7%), más de 200 kilómetros (19%) y de 151 a 200 kilómetros (9.4%). Por último, tiempos de transporte menores a dos horas estuvieron asociados con una mayor proporción de valores de pH superiores a 6 (24.8%) comparado con viajes con duración mayor a dos horas (17.5%).

Las únicas variables logísticas que tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) en la proporción de canales con valores superiores a 5.8 y 6 fueron la categoría comercial, el tiempo recorrido y la distancia recorrida hacia el rastro.

Tabla 8. Efecto de las variables logísticas en la proporción de pH 24 horas post-mortem (punto de corte pH de 5.8).

		pH <5.8	pH ≥ 5.8
Sexo**	Macho	198 (36.5%)	345 (63.5%)
	Hembra	142 (28.6%)	355 (71.4%)
Categoría comercial*	Vaquilla	5 (19.2%)	21 (80.8%)
	Vaca	137 (29.1%)	334 (70.9%)
	Torete	60 (37.6%)	100 (62.4%)
	Toro	138 (36%)	245 (64%)
Sistema productivo**	Engorda	121 (33.4%)	241 (66.6%)
	Sabana	156 (37.7%)	258 (62.3%)
	Leche	63 (23.9%)	201 (76.1%)
Distancia recorrida**	1-50 km	135 (36.1%)	239 (63.9%)
	51-100 km	38 (30.4%)	87 (69.6%)
	101-150 km	86 (25.7%)	249 (74.3%)
	151-200 km	16 (50%)	16 (50%)
	>200 km	65 (37.4%)	109 (62.6%)
Tiempo recorrido*	< 2 horas	259 (31.1%)	575 (68.9%)
	>2 horas	81 (39.3%)	125 (60.7%)
Tipo de Vehículo**	Remolque	177 (37.7%)	586 (62.3%)
	Cuello de ganso	65 (25.5%)	190 (74.5%)
	Tráiler	98 (31.1%)	217 (68.9%)

*Valor de $p < 0.05$, **valor de $p < 0.01$, prueba de χ^2 .

Tabla 9. Efecto de las variables logísticas en la proporción de pH 24 horas post-mortem (punto de corte pH de 6).

		pH <6	pH ≥ 6
Categoría comercial*	Vaquilla	15 (57.7%)	11 (42.3%)
	Vaca	358 (76%)	113 (24%)
	Torete	118 (74%)	41 (26%)
	Toro	306 (79.8%)	78 (20.2%)
Distancia recorrida*	1-50 km	289 (77.3%)	85 (22.7%)
	51-100 km	87 (69.6%)	38 (30.4%)
	101-150 km	251 (74.9%)	84 (25.1%)
	151-200 km	29 (90.6%)	3 (9.4%)
	>200 km	141 (81%)	33 (19%)
Tiempo recorrido*	< 2 horas	627 (75.2%)	207 (24.8%)
	>2 horas	170 (85.2%)	36 (17.5%)

*Valor de $p < 0.05$, prueba de χ^2 .

8. DISCUSIÓN

El rastro TIF N°546 tiene una ubicación estratégica que le permite recibir bovinos con diferentes características zootécnicas distribuyendo la carne en prácticamente todo el territorio nacional tanto en mercados locales como en las cadenas comerciales más importantes. Las variaciones logísticas y zootécnicas de los bovinos que arriban al rastro facilitan analizar el efecto que la unidad de producción y la logística *ante-mortem* tiene sobre el bienestar animal. Aunque el objetivo principal de los rastros TIF es asegurar la inocuidad de la carne, la valoración objetiva del bienestar animal es también una tarea fundamental para mitigar el efecto del estrés en el animal y en la carne. Una opción viable, práctica y eficaz es realizar la evaluación del bienestar a nivel de rastro, a través de indicadores clave que revelan información de las condiciones en granja, durante el transporte y en el rastro (Grandin, 2017). Las alteraciones podales son un ejemplo de indicador clave con un impacto económico importante que disminuye la capacidad adaptativa del bovino con el inherente costo biológico. Nuestro estudio es el primero en caracterizar y medir el porcentaje y la distribución de las alteraciones podales en la inspección *post-mortem* para analizar el efecto que las condiciones del sistema productivo de origen y la logística *ante-mortem* de los bovinos lesionados sufren y su posible repercusión en la calidad de la carne.

8.1 Análisis de distribución de lesiones

Los defectos de conformación han sido usados tradicionalmente como predictores de otras alteraciones podales en el ganado bovino (van der Linde y col., 2010). Nuestro estudio muestra al defecto de conformación como la alteración podal con mayor porcentaje (76.54 %), a diferencia de lo reportado por Magrin y col. 2018, quienes detectaron una prevalencia de hato de sólo el 6 % para defectos de conformación. A su vez, Capion y col. 2008, reportaron una asociación entre el porcentaje de defectos de conformación y lesiones solares que para Capion y col. 2008, es explicada por el incremento en la presión de la suela consecuencia de los defectos de conformación en las pezuñas lo que podría sugerir que el porcentaje de lesiones solares y de talón en nuestros resultados 24.71% y 21.35% respectivamente está influenciada por los defectos de conformación. Respecto a la lesión de

muralla nuestros resultados muestran un porcentaje de 39.13% de animales con esta lesión similar a los 37.2% reportados por Greenough 2001, quién sugiere que factores como la forma y las dimensiones podales influyen en la aparición de fisuras o fracturas de la muralla, en un fenómeno que llama estrés mecánico. Referente a las lesiones de piel nuestros datos muestran 29% de bovinos afectados, la mitad de lo reportado por Kielland y col. 2009, quienes hallaron porcentajes de hasta 60.5%, asociando a estas lesiones con las condiciones de alojamiento. Cozzi y col. 2013, también reportaron porcentajes mayores a 25% como lo observado en nuestros resultados. Las lesiones de piel podrían ser un indicador potente de bienestar en granja relacionado con las instalaciones, manejo y el alojamiento (Kielland y col., 2009); Cozzi y col., 2016; Grandin, 2017; Alvergnas y col., 2019). A su vez, la lesión de línea blanca con una proporción del 10.96% superó a lo reportado en el estudio de Solano y col. (2016) quienes registraron 4%, mientras que Magrin y col. (2018) reportaron una prevalencia de hato de 54.9 %. Los resultados del presente estudio indican que existen diferencias entre el porcentaje de lesiones en miembro torácico y pélvico, encontrando un mayor porcentaje en las lesiones pélvicas de muralla y de piel comparada con las mismas lesiones en el miembro torácicos, estos resultados concuerdan con Solano y col. (2016) y Magrin y col. (2018). A pesar de que la evidencia científica menciona que es el miembro pélvico el más afectado por las alteraciones podales (Solano y col., 2016; Magrin y col., 2018; van Amstel, 2017) en nuestros resultados se observa que la alteración más frecuente (defecto de conformación) sucedió en el miembro torácico, lo que puede ser una interacción de varios factores: laminitis, compensación de peso y modificación de la pisada como respuesta de las lesiones pélvicas, falta de recorte de pezuñas y genética (van Amstel, 2017).

8.2. Influencia del sistema productivo.

Las alteraciones podales son una condición multifactorial y su prevalencia puede variar entre regiones, además de estar influidas por los sistemas productivos (Solano y col., 2016). El ambiente productivo en el que interactúan los animales es un factor determinante en el equilibrio de la triada epidemiológica (Romero y Martínez, 2010). Aspectos ambientales como el tipo de alojamiento, tipo de piso y la temporada predisponen a la aparición de cojeras y lesiones en las pezuñas (Cook, 2003). Diversos estudios han analizado la prevalencia en

sistemas productivos de leche (Sanders y col., 2009; Solano y col., 2016 y Alvergnas y col., 2019) y en sistemas de engorda intensiva (Cozzi y col., 2013; Brscic y col., 2015 y Magrin y col., 2018).

Respecto a los sistemas de engorda intensiva se han reportado prevalencias de hato a nivel de rastro mayores a 50% para lesiones de suela y enfermedad de la línea blanca (Magrin y col., 2018) superior a lo observado en nuestros resultados donde se observan porcentajes menores a 20% para lesión de suela y de 7.2% en el caso de la enfermedad de línea blanca, lo que es atribuido a que nuestro cálculo no fue de prevalencia de hato sino de porcentaje de lesiones medido en rastro, desconociendo la situación de prevalencia e incidencia en el lugar de origen. Por otro lado, el porcentaje de defecto de conformación de 74.3% en miembro torácico y la lesión de muralla con porcentaje de 30.7% en miembro pélvico fueron mayores en nuestro estudio comparado con lo observado por Magrin y col., 2018. Una posible explicación a este resultado puede deberse a dietas altas en carbohidratos que son usadas en la finalización de los animales de engorda y durante la producción lechera las cuales están asociadas a laminitis lo que compromete la integridad y conformación de la pezuña (Vermunt y Greenough, 1994). Con porcentaje de 19.1% la lesión de piel ocupó el tercer sitio en los animales de sistemas intensivos de engorda resultado inferior a lo reportado por Cozzi y col. 2013, quienes reportaron 50% de lesiones en piel al final de la engorda relacionando esta lesión con el hacinamiento, instalaciones y caídas.

En los sistemas de producción de leche ha sido estudiado con mayor profundidad el impacto de las alteraciones podales (Magrin y col., 2018) y se sabe que el 90% de las cojeras están debidas a lesiones podales (Shearer y Van Amstel, 2013) ocasionando pérdidas económicas de hasta 95 dólares por animal (Brujinis y col., 2012). En nuestro estudio se observan porcentajes de hasta 20.1% en lesión de suela y de 15% en lesión de talón superior a lo reportado por Solano y col. 2016 quienes reportaron menos de 6% para las mismas lesiones. Otros estudios reportan porcentajes de lesiones en la suela y talón que van desde 11 a 39% y desde 8 a 41 % respectivamente (Manske y col., 2002; Cramer y col., 2008). En el caso de las lesiones de la línea blanca nuestros resultados son similares a lo mencionado en numerosos estudios en sistemas de producción de leche observándose valores entre 5% y 7% para miembros torácicos y pélvicos (Manske y col., 2002; Cramer y col., 2008; Solano y col.,

2016). En la Tabla 4 el defecto de conformación tuvo el mayor porcentaje (69.3% y 41.7% torácica y pélvica respectivamente) alteración que no es mencionada en los principales artículos de sistemas lecheros; la razón es porque la literatura reporta la prevalencia de unidades de producción lecheros en donde el recorte de pezuña es rutinario lo que corrige y previene los defectos de conformación, mientras que en nuestro estudio los hallazgos *post-mortem* implican que el bovino estaba al final de su vida productiva, con menor atención veterinaria y mayor desgaste (Alvergnas y col., 2019).

Respecto a los animales provenientes de sistemas extensivos se observa un patrón de distribución similar al observado en los otros dos sistemas, sin embargo, proporcionalmente los valores son menores en todas las lesiones, lo que concuerda con numerosos estudios en Latinoamérica que han reportado bajos porcentajes de alteraciones podales cuando los bovinos son producidos en sistemas extensivos (Tadich y col., 2005; Confalonieri y col., 2008; Machado y col., 2008; Tomasella y col., 2014). Lo anterior sugiere que un bovino en sistemas extensivos tiene menor riesgo de sufrir problemas podales; el pastoreo, y la menor incidencia de laminitis colaboran a una mejor salud e integridad de la pezuña (Vermunt y Greenough, 1994). Además, la superficie y el desgaste de la pezuña en superficies suaves como los pastizales contribuyen a disminuir los problemas podales en este tipo de sistemas. No obstante, en nuestros resultados 40% de los bovinos de sistemas extensivos padecían defectos de conformación lo que concuerda con otros investigadores que han reportado una prevalencia de hasta 24% para este trastorno (Álvarez y col., 2017; Souza y col., 2007), lo que puede ser explicado al considerar que aunque es un trastorno con baja heredabilidad, uno de los factores causales de los defectos de conformación en la pezuña es la genética (van Amstel, 2017) y los sistemas extensivos carecen de manejo genético en la mayoría de los casos.

8.3. Influencia de la severidad en pezuñas del mismo individuo

Como se observa en el cuadro 4 al analizar los valores obtenidos por el estadístico D de Somers, la severidad del miembro torácico influye en la severidad del miembro pélvico lo que concuerda con Manske y col. 2002, que reportaron que alteraciones podales con alta

prevalencia suelen ocurrir simultáneamente tanto en miembros torácicos como en pélvicos. Para Alvergnas y col., 2019, las lesiones podales están relacionadas unas con otras en el mismo individuo. La fuerza de la asociación observada en el cuadro 4 revela que existe asociación entre el porcentaje de lesiones de la suela y talón como lo mencionan Andersson y Lundström 1981, quienes reportaron una asociación entre las lesiones solares en miembros torácicos y pélvicos. En el mismo estudio, las lesiones de línea blanca y doble suela mostraron estar relacionadas al presentarse tanto en miembros torácicos como en pélvicos. Respecto al defecto de conformación, nuestros datos sugieren que la asociación más fuerte entre la severidad del miembro torácico y pélvico se encuentra en esta lesión en los tres sistemas productivos evaluados, resultado que concuerda con lo indicado por Manske y col., 2002) quienes reportaron que un 66% de los bovinos con defecto de conformación lo presentaban en ambos miembros (torácico y pélvico). Lo anterior puede generarse debido a que una pezuña lesionada provoca un aumento de presión en las pezuñas sanas con la inherente modificación en la locomoción, por lo que gradualmente la pezuña que recibe la presión adicional se lesionará también (Pastell y col., 2010). Factores predisponentes como el alojamiento, la genética, nutrición y superficies abrasivas más la modificación en la presión y locomoción productos de una pezuña lesionada comprometerán la integridad de las pezuñas sanas (Greenough y col., 1997).

8.4 Logística *ante-mortem* y su influencia en la proporción de lesiones

Como se observa en los Cuadros 5 a 10, factores logísticos como el tipo de vehículo, distancia recorrida y tiempo de viaje así como condiciones de los bovinos como la edad, el sistema productivo de origen y la categoría comercial podrían ser considerados factores de riesgo aumentando la frecuencia de alteraciones podales halladas *post-mortem*. Además se observa que la posición anatómica ya sea torácica o pélvica repercute también en dicho aumento. Para Maya y Vargas 2010, la asociación entre un factor de riesgo y la enfermedad implicará que una proporción significativamente mayor de enfermos estuvieron expuestos al factor de riesgo, es decir que la causa es una condición o acontecimiento que favorece la presentación de la enfermedad. Lo anterior respalda nuestra teoría de que existen factores de riesgo durante la vida productiva del bovino y en la logística *ante-mortem* asociados a una alta prevalencia

de alteraciones podales; estos factores de riesgo integran a las causas suficientes para la presentación de las lesiones podales (Maya y Vargas, 2010).

En ese contexto, pocos investigadores han reportado factores de riesgo asociados con incremento en lesiones podales específicas en sistemas de finalización intensiva, la mayoría de los estudios se enfocan en el ganado lechero asociando las alteraciones podales con pobres condiciones durante el alojamiento, tipo de dieta y tiempo que los bovinos pasan de pie (Barker y col., 2009; Chapinal y col., 2014; Jewell y col., 2019). Nuestros hallazgos indican una relación entre factores de riesgo *ante-mortem* y el porcentaje de alteraciones podales en diferentes sistemas productivos.

La categoría comercial fue una de las variables de riesgo para alteraciones podales tales como el defecto de conformación y la lesión de muralla donde tanto vacas como toros mostraron porcentajes de 30% hasta 44 % superando a lo observado en los toretes y las vaquillas. Es importante considerar que las vacas y los toros son animales mayores a 24 meses, lo que implica que provienen de sistemas lecheros o extensivos, donde en el caso de los sistemas lecheros las condiciones de alojamiento, la dieta y la exigencia productiva condicionan la salud de la pezuña (Alvergnas y col., 2019), mientras que referente a los toros, estos provienen de sistemas extensivos con nulo manejo genético lo que para Van der Linde y col. 2010, está asociado con defectos de conformación y lesiones de muralla. Lo anterior concuerda también con lo encontrado en el estudio de Chapinal y col. 2014, quienes demostraron que animales mayores a 9 años están asociados con lesiones podales debido a que reciben menos atención veterinaria y menos cuidados por parte del personal.

No existen estudios que relacionen la logística *ante-mortem* y la proporción de lesiones podales, sin embargo, en nuestros resultados se observa que factores *ante-mortem* como la distancia recorrida, el tipo de vehículo y el tiempo de viaje están asociados con incremento en la frecuencia de algunas alteraciones podales. Estos factores han sido identificados previamente como puntos críticos durante el transporte hacia al rastro con un costo biológico importante para el bovino (Miranda, 2013). Nuestros datos muestran porcentajes superiores a 70% en bovinos con lesión de muralla y defectos de crecimiento con trayectos menores a dos horas, lo que si bien podría ser un factor de confusión dado que es ilógico que un defecto de conformación sea debido al tiempo de viaje, podría existir una asociación entre las dos

lesiones, además, los hallazgos de algunos autores han reportado que los viajes cortos son más estresantes que los largos (Mota y col., 2006; Tateo y col., 2012) debido a que en los trayectos de corta duración los bovinos no se habitúan a los estímulos asociados al transporte. Respecto a la distancia recorrida, en nuestro estudio se observó el mayor porcentaje en las distancias cortas y medias (menos de 50 km y de 101 a 150 km) desde el 30% hasta el 37%, diferente a lo reportado por González y col., 2012) quienes mencionan que son las distancias largas las que repercuten en el bienestar de los animales al incrementar la frecuencia de animales no ambulatorios. Lo cierto es que el impacto de las condiciones durante el transporte son las que realmente representan un riesgo para la salud e integridad del animal (Tarrant, 1990), si los estímulos son demasiado intensos o frecuentes el costo biológico será mayor. Por otro lado, respecto al tipo de vehículo, en nuestros resultados se puede observar que lesiones como el defecto de conformación, lesión de suela, lesión de muralla y lesión de talón tuvieron porcentajes de hasta 47% en el remolque sencillo, el cual es un vehículo no especializado para transporte de animales contrario a lo recomendado por Miranda 2013, quien menciona que los vehículos deben ser diseñados especialmente para transportar ganado y salvaguardar su integridad física; de la misma manera la NOM-051-ZOO-1995 indica que el transporte de animales debe realizarse en contenedores o vehículos especialmente diseñados para tal fin, además, los bovinos transportados en remolque provenían mayormente de sistemas extensivos, con genética cebú lo que les confiere un temperamento más reactivo (Canizal y col., 2012).

Referente al sistema productivo, los animales provenientes de sistemas de finalización presentaron porcentajes superiores a 35% en las lesiones de suela talón y defectos de conformación mientras que Magrin 2018, reportó porcentajes de 96% para las lesiones solares *post-mortem* asociación probablemente debida a la dieta altamente calórica consumida por los bovinos en los sistemas de finalización intensiva que está asociada con cuadros subclínicos y clínicos de laminitis repercutiendo en la salud e integridad de la pezuña (Bergsten y col., 2003). Lo anterior ha sido demostrado por Greenough 1985, quien reportó la relación entre lesiones solares y etapas subclínicas de laminitis de la misma manera, Cation y col. 2008, reportaron que fases subclínicas de laminitis podrían estar asociadas a incremento en la prevalencia de defectos de conformación de la pezuña y lesiones podales subsecuentes por la modificación en la distribución de la presión ejercida durante la

locomoción en la pezuña. Nuestro estudio muestra 42.86% de defectos de conformación superior a lo observado en el estudio de Magrin 2018, quien únicamente analizó un defecto de conformación (pezuña en forma de tirabuzón) encontrando sólo 6%. En el caso de la lesión de talón el porcentaje en el estudio de Magrin 2018, no rebasó el 14% a diferencia de lo observado en nuestro estudio donde las lesiones severas alcanzaron el 51.22% en animales de engorda.

Respecto a los bovinos proveniente de sistemas lecheros, en nuestros hallazgos se observan porcentajes superiores al 20% en los defectos de conformación, lesiones de muralla, suela y talón, lo que difiere de lo reportado por Solano y col. 2016, quién indicó porcentajes menores a 6% probablemente debido a la rutina de recorte e inspección de pezuñas que previene y corrige las alteraciones podales en sistemas de lechería intensivos. Sin embargo, en sistemas lecheros donde se realiza la rutina de recorte e inspección de pezuñas también se han reportado porcentajes de lesiones severas en la pezuña cercanas al 15% (Adams y col., 2017, lo que es similar a nuestros datos. Para Haskell y col. 2006, los sistemas de producción que permiten pastorear a los bovinos están asociados con menor proporción de lesiones podales. Se ha demostrado que factores asociados a sistemas lecheros como el tipo de piso, la limpieza y la humedad influyen en la salud e integridad de la pezuña (Chapinal y col., 2013; Cook, 2013).

Con respecto a los bovinos procedentes de sistemas extensivos la lesión de muralla tuvo un porcentaje de 41.28%, lo que podría ser una lesión secundaria a defectos de conformación que predisponen a la muralla a sufrir eventos traumáticos (Greenough y col., 1997). La proporción de la lesión de muralla observada en los bovinos procedentes de sistemas extensivos fue la única que superó tanto a los bovinos de engorda como a los lecheros, sin embargo lesiones de suela, talón y defecto de conformación superaron el 30% contradiciendo lo reportado por autores que indican que el pastoreo y superficies blandas disminuyen drásticamente la prevalencia de lesiones podales (Chapinal y col., 2013; Cook, 2013). Por lo que sería importante estudiar con mayor precisión los factores que predisponen a los bovinos en sistemas extensivos a padecer alteraciones podales, siendo el factor genético el principal predisponente para una mala conformación, deben existir interacciones que favorezcan la frecuencia reportada en nuestros datos para este tipo de sistema, como lo mencionan Maya y

Martínez 2010, quienes mencionan que una relación estadística como la que se observa en nuestros hallazgos no asegura la causalidad debido que existe una interacción de más factores que podrían ser los verdaderos causantes de las alteraciones podales.

8.5. Efecto de las alteraciones podales en el pH de la canal

Nuestros resultados indican una asociación entre alteraciones podales torácicas y pélvicas con valores de pH superiores a 5.8 24 horas *post-mortem*. Es sabido que actividades que causan miedo, dolor y cansancio como el transporte, golpes y manejo, contribuyen a reducir el nivel de glucógeno muscular con el que los bovinos llegan al rastro impidiendo una acidificación de la canal deseable (Warris, 1990). Un bovino con alteraciones podales graves experimentará dolor intenso y si el problema persiste desde la granja será una lesión crónica que fatigará fácilmente a los animales (Grandin, 2017), lo que tendrá un impacto directo en el nivel de glucógeno muscular (Ponnampalam y col., 2017). Aunque no existen estudios sobre la relación de las alteraciones podales con la calidad de la carne, otros procesos fisiológicos se han asociado a una mala conformación y salud de la pezuña como la producción de leche y la reproducción (Alvergnas y col., 2019). Dado que las alteraciones podales son generalmente subestimadas, nuestros resultados demuestran que generan pérdidas económicas inclusive después de la muerte del bovino, predisponiendo a las canales a presentar defectos de calidad como los cortes oscuros. Nuestros resultados muestran que los animales con lesiones de piel tenían una mayor proporción de valores altos de pH 24 horas *postmortem*, bajo ese contexto, Kielland y col. 2009, mencionan que las lesiones de piel están relacionadas con condiciones pobres de alojamiento, por lo que comprometen el nivel de bienestar en granja; nuestros hallazgos la lesión de piel podría funcionar como indicador predictivo de la calidad de la carne. Además de las lesiones en piel, nuestros resultados indican que defectos de conformación, lesiones de muralla y de línea blanca tienen efecto sobre el pH 24 horas *post-mortem* observando que más del 70% de los bovinos con dichas lesiones podales presentaban también valores de pH mayores a 5.8 lo que para Charfeddine y Pérez-Cabal 2017, está explicado debido a que las alteraciones podales impactan en procesos fisiológicos del bovino, su longevidad y su rendimiento, a su vez,

Grandin 2017, menciona que las alteraciones podales tienen efecto en condiciones tanto productivas como reproductivas.

8.6. Efecto de la logística *ante-mortem* en el pH de la canal.

Para María 2011, el rendimiento de la canal, la calidad de la carne, el balance hídrico y el nivel de glucógeno muscular con el que el bovino muere son afectados por la logística *ante-mortem*, si añadimos el efecto que las lesiones podales tienen sobre el bovino modificando su capacidad de respuesta físico-conductual ante los eventos adversos y la mayor agresividad producto del dolor y un estado mental negativo, las repercusiones sobre la calidad de la carne serán potencialmente mayores. La presencia de cortes oscuros en diferentes regiones de México se ha incrementado en los últimos años con proporciones de canales afectadas que van desde 8.15% hasta el 47.63% (Leyva y col., 2012, Pérez y col., 2006; Sotelo y col., 2008).

Este incremento está explicado por la experiencia del animal durante su paso por el rastro hasta el desangrado. En las Tablas 11 y 12 se observan las variables logísticas *ante-mortem* relacionadas con niveles de pH mayores a 5.8 y 6. Se determinó utilizar ambos valores (5.8 y 6) como puntos de corte debido a que son los valores más utilizados en estudios de calidad de carne (Lomiwes y col., 2013; Miranda y col., 2009; Ferguson y col., 2001; Apple y col., 2006; Mach y col., 2008). En la variable sexo de la Tabla 11 se observa que valores elevados de pH tuvieron mayor porcentaje en hembras que en machos (71.4% y 63.5% respectivamente) resultado que concuerda con varios autores quienes han mencionado que las vacas son más susceptibles a presentar valores elevados de pH que los toros (Jeremiah y col., 1991; Voisinet y col., 1997; Wulf y col., 1996). Wulf y col. 1996, han atribuido este hallazgo a la secreción de estrógenos que vuelve más cautelosas a las hembras maximizando su respuesta de estrés. Referente a la categoría comercial se observó un efecto con ambos cortes de pH (5.8 y 6), observando que las vaquillas presentaron porcentajes de pH alto superiores a lo observado en las demás categorías. Aunque el tamaño de muestra es poco representativo, nuestros resultados concuerdan con los hallazgos de Romero y col. 2013, quienes reportaron que las novillas tenían mayor riesgo de presentar cortes oscuros que las demás categorías. Analizando los resultados se observa que las hembras (vaquillas y vacas)

son más susceptibles de agotar su glucógeno muscular durante los eventos sucedidos en la logística *ante-mortem*. Respecto al sistema productivo es importante mencionar que las condiciones predominantes en la granja están relacionadas con aspectos de calidad de carne evaluados en el rastro (como el corte oscuro), debido principalmente a factores nutricionales, sistemas de alimentación, manejo, clima, implantación de hormonas, genética y temperamento individual (Ponnampalam y col., 2017). En nuestro estudio 76.1% de los bovinos lecheros presentaron pH mayor a 5.8, 24 horas *post-mortem*. Una baja calidad nutricia en la dieta así como la exigencia productiva que rebasa los límites biológicos de los bovinos lecheros podría explicar el porqué de dicha asociación (María, 2011). Las dietas altamente calóricas características de los sistemas de finalización así como la combinación entre pastoreo y administración de concentrado podría explicar porque el porcentaje de bovinos provenientes de sistemas extensivos y de corrales de engorda presentaron de valores de pH elevado en los animales provenientes de sistemas extensivos y de finalización (Ponnampalam y col., 2017).

En nuestros resultados se observa también que las variables relacionadas con el transporte (distancia recorrida, tipo de vehículo y tiempo recorrido) podrían tener efecto en el pH registrado 24 horas *post-mortem* ya que la distancia y el tiempo recorridos estuvieron relacionados con mayor porcentaje de canales con pH superior a 6. Lo anterior ha sido ya mencionado en una cantidad considerable de estudios, en los cuales se señala al transporte como un procedimiento estresante que puede comprometer el bienestar (Tarrant, 1990) y afectar la calidad de la carne (María y col. 2003). Respecto a la duración del viaje hubo una mayor proporción de pH alto en los bovinos con recorridos menores a 2 horas (68.9%) comparado con los que tuvieron recorridos mayores a 2 horas (60.7%), lo que concuerda con hallazgos de algunos autores que han sugerido que los viajes cortos pueden ser inclusive más estresantes que los largos en porcinos (Mota y col., 2006) y equinos (Tateo y col., 2012), sin embargo el impacto realmente depende de las condiciones del viaje (Miranda, 2013), en muchos casos, un gran porcentaje de la jornada de transporte sucede en caminos no pavimentados lo que fatiga más a los animales debido a la vibración agotando sus reservas energéticas (Miranda, 2011). A su vez, la distancia recorrida con mayor proporción de pH elevado fue la de 101 a 150 kilómetros (74.3%), lo que contrasta por lo reportado por algunos autores que sugieren que las distancias largas son físicamente más exigentes, debido a que

los animales deben estar de pie permanentemente y mantener el equilibrio en todo momento (Gebresenbet y col., 2011). Finalmente, respecto al tipo de vehículo, 74.5% de los bovinos transportados en cuello de ganso tuvieron pH elevado, aunque esto último podría ser un factor de confusión ya que son los bovinos lecheros los que se transportan en este tipo de vehículo, atribuyendo entonces la relación de pH mayor a 5.8 a los bovinos provenientes de sistemas lecheros como se mencionó anteriormente.

9. CONCLUSIÓN.

En general, nuestros resultados sugieren que las alteraciones podales son frecuentes en los bovinos de sistemas intensivos, extensivos y lecheros. Es evidente que son patologías subestimadas que generan pérdidas que han pasado inadvertidas y han sido asumidas como inevitables por los participantes de la cadena productiva. Condiciones predominantes durante la vida productiva del bovino como el alojamiento, la nutrición, la falta de inspección veterinaria y enfermedades subyacentes como la laminitis predisponen a la aparición de lesiones podales que no siempre generan cojeras, pero que implican siempre dolor y estrés. La incapacidad físico-conductual de un bovino con lesiones podales de lidiar con los estímulos estresantes inherentes de los puntos críticos *ante-mortem* tendrán un costo biológico mayor, por lo que a través de la inspección *post-mortem* de las pezuñas, se podrá tener una idea general del nivel de bienestar que el bovino experimentó en la granja, durante el transporte y en el rastro.

Niveles de pH superiores a 5.8 y su asociación con algunos trastornos podales pueden funcionar como un indicador predictivo de la calidad de la carne, con el objetivo de identificar, corregir y prevenir fallas logísticas asociadas con lo anterior. Es importante mencionar que las alteraciones podales y los defectos de calidad en la carne son consecuencias multi-factoriales y que su ausencia no implica un estado de bienestar óptimo, no obstante, su presencia revela pobres niveles de bienestar. Dado que la mayoría de los estudios se han enfocado en las lesiones podales en sistemas lecheros, es importante generar más investigación sobre este fenómeno en bovinos especializados en producción de carne y

en bovinos producidos en sistemas extensivos por su papel como indicador clave de bienestar animal.

9. REFERENCIAS

1. Acuña, R. (2004). Cojeras del bovino. Fisiopatología y profilaxis. Buenos Aires, Argentina.
2. Álvarez, P., Martínez, M., & Cardona, A. (2017). Trastornos podales e bovinos de sistemas de producción doble propósito en el Departamento Córdoba, Colombia. *Rev Colombiana Cienc Anim.* 9: 171-180.
3. Alvergnas, M., Strabel, T., Rzewuska, K., Sell-Kubiak, E. (2019). Claw disorders in dairy cattle: Effects on production, welfare and farm economics with possible prevention methods. *Livestock Science.* 222, 56-64.
4. Amtmann, V. A., Gallo, C., Van Schaik, G., & Tadich, N. (2006). Relaciones entre el manejo antemortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 38(3).
5. Andersson, L. & Lundström, K. (1981) The influence of breed, age, body weight and season on digital disease and hoof size in dairy cows. *Zbl. Vet Med.* 28: 145-141.
6. Apple, J.K., Kegley, E.B., Galloway, D.L., Wistuba, T.J., Rakes, L.K., Yancey, J.W. (2006). Treadmill exercise is not an effective methodology for producing the dark-cutting condition in young cattle. *J Anim Sci* 84:3079–88.
7. Bartness, T. J., Shrestha, Y. B., Vaughan, C. H., Schwartz, G. J., & Song, C. K. (2010). Sensory and sympathetic nervous system control of white adipose tissue lipolysis. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 318: 34–43.
8. Bergsten, C., Greenough, P.R., Gay, J.M., Seymour, W.M., Gay, C.C., 2003. Effects of biotin supplementation on performance and claw lesions on a commercial dairy farm. *J. Dairy Sci.* 86: 3953–3962
9. Berry, S. (1999). Hoof health. Western dairy management conference. Las Vegas 13-17.
10. Broom, D. (1988). The scientific assessment of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 20: 5–19.
11. Broom, D.M. and Johnson, K.G. (1993). Stress and animal welfare. Chapman and Hall. *Animal Behavior Series*, London, U.K.

12. Broom, D.M. and Johnson, K.G., (1993). *Stress and Animal Welfare*, (Kluwer, Dordrecht).
13. Broom, D.M., (1986). Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142, 524–526.
14. Brscic, M., Gottardo, F., Tessitore, E., Guzzo, L., Ricci, R., Cozzi, G., (2015). Assessment of welfare of finishing beef cattle kept on different types of floor after short- or longterm housing. *Animal* 9, 1053–1058.
15. Bruijnis, M.R.N., Beerda, B., Hogeveen, H., Stassen, E.N., 2012. Assessing the welfare impact of foot disorders in dairy cattle by a modeling approach. *Animal* 6, 962–970.
16. Canén, H., & Rodríguez, A. D. G. (2008). Caracterización del transporte terrestre de bovinos hacia plantas de faena en Uruguay, IX, 1–14.
17. Canizal, E., Moreno, V., Pérez, J. (2012). *Zootecnia de Bovinos productores de carne I*. FMVZ, UNAM. México.
18. Carrera, C., Gómez, C., & Schwentesius, R. (2014). La Ganadería Bovina de Carne en México: Un Recuento Necesario Después de la Apertura Comercial, (1), 109.
19. Capion, N., Thamsborg, S.M., Enevoldsen, C., (2008). Conformation of hind legs and lameness in Danish Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 91, 2089–2097.
20. Chapinal, N., A. K. Barrientos, M. A. G. von Keyserlingk, E. Galo, and D. M. Weary. (2013). Herd-level risk factors for lameness in freestall farms in the northeastern United States and California. *J. Dairy Sci.* 96:318–328.
21. Charfeddine, N., Pérez-Cabal, M.A. (2017). Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 100: 653–665.
22. Claudia Terlouw, E. M., Bourguet, C., Deiss, V., & Mallet, C. (2015). Origins of movements following stunning and during bleeding in cattle. *Meat Science*, 110, 135–144.
23. Cook, N. B. 2003. Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 223:1324–1328.
24. Confalonieri, O., Soraci, A., Passucci, J., Rodríguez, E., Becaluba, H., Tapia, M. (2008). Prevalencia y detección de factores de riesgo de patologías podales y su

- influencia en la producción láctea en bovinos de la cuenca lechera mar y sierras de Tandil. *Analecta Veterinaria*. 28:15-20.
25. Cozzi, G., Brscic, M., Gottardo, F., 2009. Main critical factors affecting the welfare of beef cattle and veal calves raised under intensive rearing systems in Italy: a review. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 67–80.
 26. Cozzi, G., Tessitore, E., Contiero, B., Ricci, R., Gottardo, F., Brscic, M., 2013. Alternative solutions to the concrete fully-slatted floor for the housing of finishing beef cattle: effects on growth performance, health of the locomotor system and behaviour. *Vet. J.* 197, 211–215.
 27. Cramer, G., K. D. Lissemore, C. L. Guard, K. E. Leslie, and D. F. Kelton. (2008). Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 91:3888–3895.
 28. Dalmau, A., Temple, D., Rodríguez, P., Llonch, P., & Velarde, A. (2009). Application of the Welfare Quality® protocol at pig slaughterhouses. *Animal Welfare*, 18, 497–505.
 29. Dantzer, R. y Mormède, P. El stress en la cría intensiva del ganado. Ed. Acribia. 1984. España.
 30. Del Campo, M., Brito, G., Soares de Lima, J., Hernández, P., & Montossi, F. (2010). Finishing diet, temperament and lairage time effects on carcass and meat quality traits in steers. *Meat Science*, 86(4), 908–914.
 31. El toro: descripción y sus características. Disponible en: www.animales.website/el-toro/).
 32. Etim, N., Williams, M., Evans, E., & Offiong, E. (2013). Physiological and behavioural responses of farm animals to stress: Implications to animal productivity. *American Journal of Advanced Agricultural Research*, 1, 53–61.
 33. FAWC (2009). Farm animal welfare in great Britain: Past, present and future. London: FAWC.
 34. Ferguson, D.M., Bruce, H.L., Thompson, J.M., Egan, A.F., Perry, D., Shorthose, W.R. (2001). Factors affecting beef palatability-farm gate to chilled carcass. *Aust J Exp Agric* 41:879–91.

35. Finnie, J. W., Manavis, J., Blumbergs, P. C., & Summersides, G. E. (2002). Brain damage in sheep from penetrating captive bolt stunning. *Australian Veterinary Journal*, 80(1–2), 67–69.
36. Fisher, A. D., Colditz, I. G., Lee, C., & Ferguson, D. M. (2009). The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 4(4), 157–162.
37. Flint, H. E., Schwartzkopf-Genswein, K. S., Bateman, K. G., & Haley, D. B. (2013). Characteristics of loads of cattle stopping for feed, water and rest during long-distance transport in Canada. *Animals*, 4(1), 62–81.
38. Gallo, C., & Tadich, N. (2005). *TRANSPORTE TERRESTRE DE BOVINOS: EFECTOS SOBRE EL BIENESTAR ANIMAL Y LA CALIDAD DE LA CARNE** *LAND TRANSPORT OF CATTLE FOR SLAUGHTER: EFFECTS ON ANIMAL WELFARE AND MEAT QUALITY**. *Agro-Ciencia* (Vol. 21, pp. 37–49).
39. Gallo, C., Lizondo, G., & Knowles, T. G. (2003). Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *The Veterinary Record*, 152(1990), 361–364.
40. Gibson, T. J., Mason, C. W., Spence, J. Y., Barker, H., & Gregory, N. G. (2015). Factors Affecting Penetrating Captive Bolt Gun Performance. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 18(3), 222–238.
41. Goldstein, D. S., & Kopin, I. J. (2007). Evolution of concepts of stress. *Stress*, 10(2), 109–120.
42. González, L. A., Schwartzkopf-Genswein, K. S., Bryan, M., Silasi, R., & Brown, F. (2012). Relationships between transport conditions and welfare outcomes during commercial long haul transport of cattle in North America. *Journal of Animal Science*, 90(10), 3640–3651.
43. González, L.A., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Bryan, M., Silasi, R., Brown, F. (2012). Factors affecting body weight loss during commercial long haul transport of cattle in North America. *J. Anim. Sci.*, 90: 3630-3639.
44. Gotoh, T., Nishimura, T., Kuchida, K., & Mannen, H. (2018). The Japanese Wagyu beef industry: Current situation and future prospects - A review. *Asian-Australasian*

- Journal of Animal Sciences*. Asian-Australasian Association of Animal Production Societies.
45. Grandin, T. (1990). Design of loading facilities and holding pens. *Applied Animal Behaviour Science*, 28(1–2), 187–201.
 46. Grandin, T. (1997). Assessment of Stress During Handling and volume. *Transport Journal of Animal Science*, 75, 249–257.
 47. Grandin, T. (2002). Return-to-sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. *Public Veterinary Medicine: Food Safety and Handling*, 221(9), 1258–1261.
 48. Grandin, T. (2014). Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat Science*, 98(3), 461–469.
 49. Grandin, T. (2017). On-farm conditions that compromise animal welfare that can be monitored at the slaughter plant. *Meat Science*, 132, 52–58.
 50. Grandin, T. (2017). On-farm conditions that compromise animal welfare that can be
 51. Grandin, T., & Shivley, C. (2015). How farm animals react and perceive stressful situations such as handling, restraint, and transport. *Animals*, 5(4), 1233–1251.
 52. Greenough, P.R., (1985). The subclinical laminitis syndrome. *Bov Pract*, 1985; 20:144-149.
 53. Greenough, P.R., Weaver, A. D., Broom, D.M., Esslemont, R. J. & Galindo, F. A. (1997). Basic Concepts of Bovine Lameness en:*Lameness in Cattle*, third edition, ed. P.R. Greenough and A.D. Weaver, 3-13. Philadelphia: W.B. Saunders.
 54. Greenough, P.R., (2001). Sand cracks, horizontal fissures, and other conditions affecting the wall of the bovine claw. *The Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice* 17, 93-110.
 55. Gregory, N. G. (1998). Animal welfare and meat science. London: CAB International. International Financing Corporation (2006). Good practice note. Animal welfare in livestock operations.
 56. Gregory, N.G. (2008). Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Sci*; 80: 2-11.
 57. Hargis, A.M., Ginn, E., P. (2012). The Integument en Pathologic Basis of Veterinary Disease. Zachary, J., F., McGavin, D., M. 972:1084. Quinta edición. Missouri U.S.A

58. Haskell, M. J., L. J. Rennie, V. A. Bowell, M. J. Bell, and A. B. Lawrence. (2006). Housing system, milk production, and zero-grazing effects on lameness and leg injury in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:4259–4266.
59. Hewson, C. J. (2003). What is animal welfare? Common definitions and their practical consequences. *Canadian Veterinary Journal*, 44(6), 496–499.
60. ICAR. (2015). Claw Health Atlas. Tomado el 10 de Octubre 2018 desde: http://www.icar.org/Documents/ICAR_Claw_Health_Atlas.pdf.
61. Ingenbleek, P., Harvey, D., Ilieski, V., Immink, V., de Roest, K., & Schmid, O. (2013). The European market for animal-friendly products in a societal context. *Animals*, 3(3), 808–829.
62. International Lameness Committee. (2008). Dairy claw lesion identification. In Proc. 15th Int. Symp. 7th Conf. Lameness in Ruminants, Kuopio, Finland. Savonia University of Applied Sciences, Kuopio, Finland.
63. Jarvis, A., Harrington, D., & Cockram, M. (1996). Effect of source and lairage on some behavioural and biochemical measurements of feed restriction and dehydration in cattle at a slaughterhouse. *Applied Animal Behaviour Science*, 50(1), 83–94.
64. Jeremiah, L.E., Tong, A., K., W., Gibson, L., L. (1991). The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. *Meat Sci.* 30: 97–114.
65. Keane, M.P., McGee, M., O’Riordan, E.G., Kelly, A.K., Earley, B., (2015). Effect of floor type on hoof lesions, dirt scores, immune response and production of beef bulls. *Livest. Sci.* 180, 220–225.
66. Kester, E., Holzhauser, M., & Frankena, K. (2014). A descriptive review of the prevalence and risk of hock lesions in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 202, 222–228.
67. Kielland, C., Ruud, L.E., Zanella, J., & Osterás, O. (2009). Prevalence and risk factors for skin lesions on legs of dairy cattle housed in freestalls in Norway. *J. Dairy Sci.* 92: 5487-5496.
68. Lawlis, P., & Allen, A. (2014). PRESLAUGHTER HANDLING | Welfare of Animals. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 3, 108–113.

69. Lerner H. (2008). The concepts of health, well-being and welfare as applied to animals. A philosophical analysis of the concepts with regard to the differences between animals. PhD thesis.
70. Ljungberg, D., Gebresenbet, G., & Aradom, S. (2007). Logistics chain of animal transport and slaughterhouse operations. *Biosystems Engineering*, 96, 267–277.
71. Lomiwes D., Farouk, M.M., Frost, D.A., Dobbie, P.M., Young, O.A. (2013). Small heat shock proteins and toughness in intermediate pH beef. *Meat Science* 95:472–9.
72. Losada-Espinosa, N., Villarroya, M., María, G. A., & Miranda-de la Lama, G. C. (2018). Pre-slaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary monitoring systems: A systematic review. *Meat Science*, 138, 34–48.
73. Machado, P., Pereira, H., Santos, H., Oliveira, R., Guerra, P., Teixeira, W. (2008). Prevalência e classificação de afecções podais em fêmeas bovinas destinadas à produção de leite na bacia leiteira do município de Itapecuru Mirim-MA. *Rev. Bras. Saúde Prod. An.* 9: 777 – 786.
74. Mader, T. L., & Griffin, D. (2015). Management of Cattle Exposed to Adverse Environmental Conditions. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 31(2), 247–258.
75. Manske, T., Hultgren, J. & Bergsten, C. (2002). Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 54: 247-263.
76. Magrin, L., Brscic, M., Armato, L., Contiero, B., Cozzi, G., & Gottardo, F. (2018). An overview of claw disorders at slaughter in finishing beef cattle reared in intensive indoor systems through a cross-sectional study. *Preventive Veterinary Medicine*, 161: 83–89
77. María, G.A. (2011). Bienestar animal: texto de estudio. Universidad de Zaragoza, España.
78. María, G., Villarroya, M., Chacón, G., & Gebresenbet, G. (2004). Scoring system for evaluating the stress to cattle of commercial loading and unloading. *Vet Rec*; 26:818-821.

79. María, G., Villarroel, M., Sañudo, C., Olleta, J., & Gebresenbet, G. (2003). Effect of transport time and ageing on aspects of beef quality. *Meat Science*, 65:1335-40.
80. McCarty, R. (2016). The Fight-or-Flight Response: A Cornerstone of Stress Research. *Stress: Concepts, Cognition, Emotion, and Behavior: Handbook of Stress*. Elsevier Inc.
81. McVeigh, J.M., Tarrant, P.V. (1983). Effect of propranolol on muscle glycogenmetabolism during social regrouping of young bulls. *J Anim Sci* 56:71–80.
82. Minka, N. S., & Ayo, J. O. (2008). Haematology and behaviour of pullets transported by road and administered with ascorbic acid during the hot-dry season. *Research in Veterinary Science*, 85(2), 389–393.
83. Miranda-de la Lama, G. C. (2013). Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*, 44(728), 31–56.
84. Miranda-de la Lama, G. C., Estévez-Moreno, L. X., Sepúlveda, W. S., Estrada-Chavero, M. C., Rayas-Amor, A. A., Villarroel, M., & María, G. A. (2017). Mexican consumers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare and willingness to pay for welfare friendly meat products. *Meat Science*, 125, 106–113.
85. Miranda-de la Lama, G. C., Villarroel, M., Liste, G., Escós, J., & María, G. A. (2010). Critical points in the pre-slaughter logistic chain of lambs in Spain that may compromise the animal's welfare. *Small Ruminant Research*, 90(1–3), 174–178.
86. Miranda-de la Lama, G. C., Villarroel, M., Olleta, J. L., Alierta, S., Sañudo, C., & Maria, G. A. (2009). Effect of the pre-slaughter logistic chain on meat quality of lambs. *Meat Science*, 83(4), 604–609.
87. Miskimins, D., 2002. Predominant causes of lameness in feedlot and stocker cattle. In: Shearer, J.K. (Ed.), Proc. 12th Int. Symp. Conf. Lameness in Ruminants. Orlando. pp. 147–151.
88. Mitchell, M. a, & Kettlewell, P. J. (2008). Engineering and design of vehicles for long distance road transport of livestock (ruminants, pigs and poultry). *Veterinaria Italiana*, 44(1), 201–213.

89. Moberg, G. P. (2009). Biological response to stress: implications for animal welfare. In *The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare*. (pp. 1–21). monitored at the slaughter plant. *Meat Science*, 132, 52–58.
90. Mormede, P, Andanson, S, Auperin, B, Beerda, B, Guemene, D, Mamkvist, J, Manteca, X, Manteuffel, G, Prunet, P, van Reenen, CG, Richard, S & Veissier, I (2007). Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology and Behavior* 92 317–339.
91. Mounier, L., Dubroeuq, H., Andanson, S., & Veissier, I. (2006). Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *Journal of Animal Science*, 84(6), 1567–1576.
92. Nocek, J. (1986). Bovine Foot Anatomy: A functional and practical perspective. *The Professional Animal Scientist*, 2, 1-4.
93. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.
94. NOM-051-ZOO-1995. Trato humanitario en la movilización de animales.
95. Noordhuizen, J., 2008. Applying HACCP-based quality risk management on dairy farms. Wageningen Academic Pub.
96. Onenc, A., & Kaya, A. (2004). The effects of electrical stunning and percussive captive bolt stunning on meat quality of cattle processed by Turkish slaughter procedures. *Meat Science*, 66(1), 809–815.
97. Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Estrada-Angulo, A., Sánchez-López, E., Barreras-Serrano, A., Bolado-Sarabia, J., & Ríos-Rincón, F. (2015). Animal welfare indicators during the stunning of bovines slaughtered in federal inspection type slaughterhouses located in northwestern Mexico. *Archivos de medicina veterinaria*, 47(3), 375–380.
98. Petherick, J. C., & Phillips, C. J. C. (2009). Space allowances for confined livestock and their determination from allometric principles. *Applied Animal Behaviour Science*, 117(1–2), 1–12.
99. Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., & Bekhit, A. E. (2017). Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting ” Meat : Current Trends

and Future Directions : *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 16, 400-430.

100. Rabasa, C., & Dickson, S. L. (2016). Impact of stress on metabolism and energy balance. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 9, 71–77.
101. Romero, M. H., Sánchez, J. A., & Gutiérrez, C. (2011). Evaluación de prácticas de bienestar animal durante el transporte de bovinos para sacrificio. *Revista de Salud Pública*, 13(4), 684–690.
102. Romero, M. H., Uribe-Velásquez, L. F., Sánchez, 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.
103. SAGARPA. Directorio Estatal y Nacional de Centros de Sacrificio. Disponible en: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/Rastros/seccedos.pdf.
104. Schwartzkopf-Genswein, K. S., Faucitano, L., Dadgar, S., Shand, P., González, L. A., & Crowe, T. G. (2012). Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *Meat Science*. 99, 1–14.
105. Selye H. (1976) *Stress in Health and Disease*. Stoneham, MA: Butterworth.
106. Shearer, J., and S. Van Amstel. 2013. *Manual of Foot Care in Cattle*. 2nd ed. Hoard's Dairyman, Fort Atkinson, WI.
107. SIAP (2018). Avance por producto: Carne en Canal de Bovino, Acumulado 2017-2018. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp.
108. Solano, L., Barkema, H.W., Mason, S., Pajor, E.A., LeBlanc, S.J., Orsel, K., (2016). Prevalence and distribution of foot lesions in dairy cattle in Alberta, Canada. *J. Dairy*. 99, 1-14.
109. Somers, R.H. (1962). A new asymmetric measure of association for ordinal variables. *Am. Sociol. Rev.* 27 (6), 799–811.

110. Somers, J.G.C.J., Schouten, W.G.P., Frankena, K., Noordhuizen-Stassen, E.N., Metz, J.H.M., (2005). Development of claw traits and claw lesions in dairy cows kept on different floor systems. *J. Dairy Sci.* 88, 110–120.
111. Souza, R., Carvalho, A., Ferreira, P., Facury, E., Ferreira, M., Ferreira, R., Costa, C. Neto, A. (2007). Prevalência e distribuição de lesões digitais em vacas leiteiras nas regiões de Belo Horizonte e Pedro Leopoldo. *Ciência Animal Brasileira.* 8:823–831.
112. Spinka, M. (2012). *Applied Animal Behaviour Science*, 138, 170–181.
113. Tadich, N., Hettich., E., van Schaik., G. (2005). Prevalencia de cojeras en vacas de 50 rebaños lecheros del sur de Chile. *Arch. Med. Vet.* 37:29–36.
114. Tarrant, P.V., Kenny, F.J., and Harrington, D. (1988) The effect of stocking density during 4 hour transport to slaughter on behavior, blood constituents and carcass bruising in Friesian steers, *Meat Science*, 24:209-222.
115. Tarrant, P.V. (1990). Transportation of cattle by road. *Applied Animal Behaviour Science*, 28: 153-170.
116. Terlouw, C., Bourguet, C., & Deiss, V. (2016). Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part II. Evaluation methods. *Meat Science*, 118: 147–156.
117. Terlouw, C., Bourguet, C., & Deiss, V. (2016). Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Science*, 118.
118. Toledo, C. (2006). Descripción de las estructuras anatómicas afectadas en dedos de vacas lecheras faenadas en una planta procesadora de carnes del Sur de Chile. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
119. Tomasella, T., Negri-filho, L., Affonso, M., Junior, F., da Silva, L.; Okano, W. (2014). Prevalência e classificações de lesões podais em bovinos leiteiros na região de Belo Horizonte-MG. *Rev. Bras. Hig. San. Na.* 8:115–128.
120. Valadez-Noriega, M., Estévez-Moreno, L. X., Rayas-Amor, A. A., Rubio-Lozano, M. S., Galindo, F., & Miranda-de la Lama, G. C. (2018). Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational

- wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 160(10), 76–84.
121. Van de Water, G., Verjans, F., & Geers, R. (2003). The effect of short distance transport under commercial. *Livestock Production Science*, 82(2–3), 171–179.
 122. Van der Linde, C., de Jong, G., Koenen, E.P.C., Eding, H., (2010). Claw health index for Dutch dairy cattle based on claw trimming and conformation data. *J. Dairy Sci.* 93, 4883–4891.
 123. Van Staaveren, N., Doyle, B., Manzanilla, E., Calderón Díaz, J., Hanlon, A., & Boyle, L. (2017). Validation of carcass lesions as indicators for on-farm health and welfare of pigs. *Journal of Animal Science*, 95(4), 1528–1536.
 124. Villarroel, M., Maria, G. A., Sainudo, C., & Gebresenbet, G. (2001). Critical points in the transport of cattle to slaughter in Spain that may compromise the animals welfare. 149(6), 173-176.
 125. Villarroel, M., Maria, G. A., Sierra, I., Sañudo, C., Garcia-Belenguer, S. & Gebresenbet, G. (2001). Critical points in the transport of cattle to slaughter in Spain that may com-promise the animals' welfare. *Veterinary Record*, 149, 173 –176.
 126. Voisinet, B., D., Grandin, T., O'Connor S.F., Tatum, J.D., Deesing, M.J. (1997).Bos indicus-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Sci.* 46:367–77.
 127. Warren, L. a., Mandell, I. B., & Bateman, K. G. (2010). Road transport conditions of slaughter cattle: Effects on the prevalence of dark, firm and dry beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 90, 471–482.
 128. Warriss, P.D. (1990). The handling of cattle pre-slaught and its effects on carcass and meat quality. *AppliedAnimal Behaviour Science*. 28: 171-186.
 129. Warriss, P.D., Kestin, S., Brown, S., & Wilkins, L. (1984). The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting beef. *Meat Science*, 10(1), 53–68.
 130. Welfare Quality (2009). Welfare quality assessment protocol for cattle. Lelystad, Netherlands: Welfare Quality Consortium.

131. Wigham, E. E., Butterworth, A., & Wotton, S. (2018). Assessing cattle welfare at slaughter – Why is it important and what challenges are faced? *Meat Science*, 145, 171–177.
132. Wigham, E. E., Butterworth, A., & Wotton, S. (2018). Assessing cattle welfare at slaughter – Why is it important and what challenges are faced? *Meat Science*.145: 171-177.
133. Wulf, D.M., Tatum, J., Green, R., Morgan, J., Golden, B., Smith, G. (1996). Genetic influences on beef longissimus palatability in Charolais- and Limousin-sired steers and heifers. *J Anim Sci*. 74:2394–405.
134. Zinpro Corporation (2016). Step-up locomotion scoring system. Disponible en: Zinpro Corporation<http://www.zinpro.com/lameness/beef/locomotion-scoring>.