

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS



EVALUACIÓN DEL ATURDIMIENTO ELÉCTRICO EN INDICADORES DE BIENESTAR ANIMAL DURANTE EL SACRIFICIO DE CERDOS CON DIFERENTES CATEGORIAS DE PESO VIVO Y LAS REPERCUSIONES EN LA CANAL PORCINA

TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS

PRESENTA

M.V.Z. FERNANDA GUADALUPE LASTRA SANTOS

DIRECTORA DE TESIS
PH. D. CRISTINA PÉREZ LINARES

CO-DIRECTOR
DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

SEPTIEMBRE, 2020

Evaluación del aturdimiento eléctrico en indicadores de bienestar animal durante el sacrificio de cerdos con diferentes categorías de peso vivo y las repercusiones en la canal porcina. Tesis presentada por Fernanda Guadalupe Lastra Santos, misma que fue revisada bajo la dirección del consejo particular indicado, la cual ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de: Maestro en Ciencias Veterinarias.

Ph. D. Cristina Pérez Linares
Directora de Tesis

Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón
Co-director de Tesis

Ph. D. Fernando Figueroa Saavedra
Asesor

Dr. Alberto Barreras Serrano
Asesor

Mexicali, Baja California, septiembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California, pero en particular al Instituto de Investigaciones en Ciencias veterinarias por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida, por su apoyo económico durante los primeros meses de la maestría, sin su apoyo no me habría atrevido a realizar un posgrado lejos de casa y lejos de mi familia.

A mi esposo por ser mi confidente, por su comprensión y por brindarme su apoyo durante nuestro noviazgo y ahora, nuestro matrimonio.

A mi tutora, la Dra. Cristina Pérez por aceptarme como su alumna, por su guía y paciencia, por todos sus consejos a través de la maestría, por compartir su conocimiento y formarme académicamente.

A mi tutor de licenciatura Dr. Francisco Ríos por brindarme la oportunidad de ser parte de su equipo, por sus consejos y enseñanzas, por animarme a explorar las áreas de calidad de la carne y bienestar animal, las cuales eran de mi desconocimiento, por creer en mí y por recomendarme con mi tutora y la escuela que me formó en mis estudios de posgrado.

A mis profesores los Dres. Fernando Figueroa, Alberto Barreras, Eduardo Sánchez y Alejandro Plascencia por compartir sus conocimientos y contribuir en mi formación académica.

A la Dra. Maritza Manríquez por su ayuda y apoyo durante el periodo de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) por haberme apoyado económicamente durante los dos años que duró la maestría, ya que sin su apoyo no habría sido posible.

A mis mejores amigas de licenciatura Adriana, por su apoyo incondicional y amistad y Ana por su ayuda en momentos difíciles, las quiero.

A mis compañeros y amigos, Jesús Sarabia y Yerania Robles por brindarme su amistad y apoyo durante la maestría, ya que sin su apoyo no habría logrado mi objetivo.

A mis tíos, Fabián Mercado, Silvia Santos, por abrirme las puertas de su casa sin pedirme nada a cambio, sin su apoyo no lo habría logrado, ya que no contaba con recursos económicos para vivir de forma independiente y a mi prima Alejandra por haber compartido su cuarto.

Y por último pero no menos importante a Dios, por darme las fuerzas que necesité para seguir adelante cuando no encontraba la salida.

DEDICATORIA

A mi familia:

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, los Sres. Antonio Lastra Duarte y Sandra Santos Sánchez por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida, por siempre alentarme a realizar y concluir el posgrado, por siempre compartir conmigo que su sueño siempre fue que culminara mis estudios, ya que esa sería la herencia que me darían, la educación. Muchas gracias por todo su esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos menores; Yulenia Lastra Santos y Jesús Antonio Lastra Santos, pues siempre quise ser su ejemplo a seguir y que vieran que si yo puedo, ustedes también, porque “el límite es el cielo”...

A mí amado esposo y compañero de vida Roel Álvarez Peñuelas por su amor, por ser mi confidente, por estar a mi lado cuando más lo necesitaba y por su apoyo durante mis estudios de posgrados.

A mi adorada hija Camila, pues me acompañaste a mis clases mientras estabas en mi vientre.

Ustedes son mi motor y sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, los amo.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVO.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Aturdimiento en cerdos.....	7
Métodos de aturdimiento.....	8
<i>Aturdimiento eléctrico (electronarcosis).....</i>	8
<i>Aturdimiento con CO₂ (narcosis con dióxido de carbono).....</i>	10
Procedimiento de sacrificio.....	13
Repercusiones en la canal.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Localización y duración del estudio.....	17
Características de las unidades de estudio.....	17
Metodología.....	17
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	26

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
Variables evaluadas durante el sacrificio.....	27
Evaluación de indicadores post aturdimiento.....	31
Evaluación de fracturas en las canales.....	36
CONCLUSIONES.....	39
LITERATURA CITADA.....	40

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Descripción de la severidad de las fracturas en las canales.....	19
2 Valores medios de variables evaluadas durante el sacrificio en los cerdos.....	30
3 Frecuencias y valores porcentuales de indicadores de Bienestar animal post-aturdimiento en cerdos sacrificados con diferentes pesos.....	32
4 Presencia, ubicación anatómica y severidad de fracturas presentes en cerdos sacrificados en una planta TIF.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Corte de vena yugular y arteria carótida.....	14
2	Sitio de toma de pH y temperatura.....	20
3	Áreas anatómicas: 1 (vértebras torácicas), 2 (vértebras lumbares) y 3 (vértebras sacras).....	21
4	Canal sin daño aparente.....	22
5	Fractura ligera.....	23
6	Fractura moderada.....	24
7	Fractura intensa.....	25

RESUMEN

Se realizó un estudio en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal y se evaluaron durante la fase de aturdimiento un total de 762 cerdos finalizados, los que se clasificaron en tres categorías de peso vivo (PV): ligeros (≤ 90 kg PV), estándar (90-119 kg PV), y pesados (≥ 119 kg PV). Durante el aturdimiento se registró el amperaje y voltaje aplicado a cada uno de ellos, el cual varió según el peso del cerdo. Una vez realizado el aturdimiento, se registró la presencia o ausencia de: estiramiento tónico, pataleo clónico, vocalizaciones, caídos del riel, respiración rítmica, movimiento palpebral, movimientos oculares y reacción al corte de carótidas y yugulares, así como el tiempo entre el aturdimiento y desangrado y se determinó las repercusiones en la canal evaluando la presencia o ausencia de fracturas en tres áreas anatómicas: en vértebras cervicales, vertebras torácicas y vertebras sacras. Durante el proceso de sacrificio, el tiempo entre el aturdimiento y desangrado se realizó en un rango de valores medios de entre 27.08 ± 7.60 y 28.24 ± 11.69 segundos en los tres diferentes grupos de cerdos. La Norma Oficial Mexicana, NOM-033-SAG/ZOO-2014 menciona que el tiempo del desangrado, posterior al aturdimiento, no debe exceder los 20 segundos. La presencia de fracturas con diferente grado de intensidad de daño en la canal fue ocasionado por el voltaje superior al recomendado.

Palabras clave: aturdimiento eléctrico, bienestar, cerdos, canales

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the electrical stunning in animal welfare indicators during the slaughter of pigs with different live weight categories and the repercussions on the porcine carcass. The study was carried out in a Federal Inspection Type slaughter plant, 762 finished pigs were evaluated during the stunning phase, which were classified into three live weight (LW) categories: light (≤ 90 kg LW), standard (90-119 kg LW), and heavy (≥ 119 kg LW). During the stunning, the amperage and voltage applied to each of them was recorded, which varied according to the weight of the pig. Once the stunning was performed, the presence or absence of tonic stretching, clonic kicking, vocalizations, falling from the rail, rhythmic breathing, eyelid movement, eye movements and reaction to carotid and jugular cutting were recorded, as well as the time between stunning and bleeding and the repercussions on the canal were determined by evaluating the presence or absence of fractures in three anatomical areas: cervical vertebrae, thoracic vertebrae and sacral vertebrae. During the slaughter process, the time between stunning and bleeding was performed in a range of mean values between 27.08 ± 7.60 and 28.24 ± 11.69 seconds in the three different groups of pigs. The Official Mexican Standard, NOM-033-SAG / ZOO-2014 mentions that the bleeding time, after stunning, should not exceed 20 seconds. The presence of fractures with a different degree of damage intensity in the carcass was caused by a voltage higher than the recommended one.

Keywords: electrical stunning, welfare, pigs, carcass

INTRODUCCIÓN

La historia de la humanidad está íntimamente relacionada con la matanza de animales para abastecerse de alimento. Durante la mayor parte de ese tiempo, se pensó muy poco en reducir el dolor y el sufrimiento que el animal puede sentir durante el proceso de matanza. Sin embargo, en los últimos años la sociedad ha considerado éticamente correcto minimizar el dolor y el sufrimiento del animal durante la matanza y ha ideado una variedad de métodos para lograrlo (Zivotofsky y Strous, 2012).

El sacrificio de los animales de abasto se ha convertido en un tema de interés en el área científica, ética y social en la última década, debido al impacto que tiene el bienestar animal en la calidad de la carne (González et al., 2014). Dos de los principales defectos de calidad que enfrenta la industria porcina es la presencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE) y oscura, firme y seca (DFD); estos defectos provocan que el producto sea poco atractivo para el consumidor al disminuir la vida útil y el rendimiento de la carne, afectando negativamente su comercialización (Adzitey y Nurul, 2011).

Es requisito reglamentario que los cerdos sean aturdidos antes del sacrificio (Novak et al., 2007) y es un requisito desde el punto de vista del bienestar animal para garantizar la pérdida de la conciencia antes de su muerte por desangrado (Álvarez et al., 2005).

El aturdimiento eléctrico consiste en el paso de corriente eléctrica a través del cerebro con una intensidad lo suficientemente alta como para provocar una despolarización del sistema nervioso central y una desorganización de la actividad

eléctrica normal (Velarde et al., 2000), y al ser aturdido correctamente el cerdo presenta ausencia de reflejos oculares, ausencia de vocalización, ausencia de respiración rítmica, no hay reacción al corte de carótidas y yugulares, y no hay intento de incorporarse (Grandin, 2001).

El aturdimiento eléctrico tiene como ventajas su reducido costo, fácil aplicación, menor personal que lo aplica, y lo importante es que los cerdos son aturridos de forma casi instantánea sin manifestar signos de estrés presentando mínimas reacciones tras el aturdimiento.

La Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 establece que los cerdos con peso vivo de 100 kg deben ser aturridos con una corriente eléctrica de 1.25 amperes y 200 voltios. Dicha regla se sigue en forma generalizada invariablemente en los rastros Tipo Inspección Federal; ya que el peso de llegada de los cerdos al rastro es muy variable y el uso generalizado de esta técnica puede resultar en importantes pérdidas en la calidad de la canal como la presencia de petequias, hemorragias, e incluso fracturas óseas (Álvarez et al., 2005) con consecuencias negativas sobre la calidad del producto final. Aun cuando existen informes previos del impacto del nivel de aturdimiento sobre la calidad de la carne, hay información limitada sobre la magnitud que este procedimiento tiene cuando las variables de amperaje y voltaje se utilizan sin apego a lo que dicta la norma en rastros.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el proceso de aturdimiento sobre los indicadores de bienestar animal post-aturdimiento y las repercusiones en la canal de cerdos de tres diferentes grupos de peso vivo

**(ligeros, estándar y pesados) sacrificados en una planta Tipo Inspección
Federal en Culiacán Sinaloa.**

REVISIÓN DE LITERATURA

Aturdimiento en cerdos

Un buen sistema de aturdimiento debe garantizar una inducción rápida de la inconsciencia sin causar dolor y debe prolongarse hasta la muerte del animal, asimismo, debe minimizar los problemas de calidad del producto final y garantizar la seguridad del operador al favorecer la inmovilización de los animales antes del aturdimiento y durante el desangrado, esto con el objetivo de asegurar la estabilidad del animal para que la aplicación del método de aturdimiento se realice correctamente (Acevedo et al., 2016).

El aturdimiento es el procedimiento mecánico, eléctrico, químico o de otra índole que provoca la pérdida inmediata de conocimiento, aplicado antes del sacrificio para que éste produzca una pérdida del conocimiento y se prolonga hasta el sacrificio y que causa la muerte (OIE, 2015).

La Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, “Métodos para dar muerte a los animales domésticos y a la fauna silvestre”, exige que los cerdos estén inconscientes antes de su muerte, con el fin de evitarles miedo, dolor y estrés. El animal debe permanecer inconsciente el tiempo necesario para que el desangrado ocasione una muerte rápida por falta de oxígeno al cerebro (anoxia cerebral), es decir, la muerte debe presentarse antes de que el animal pueda recobrar la conciencia. Cuando el animal está consciente, quiere decir que está despierto, alerta, que siente y tiene emociones, por lo tanto, el aturdimiento previo al desangrado debe ser inmediato y asegurar que con ambos procedimientos, se causa la muerte del animal muere de manera inmediata (Méndez et al., 2013).

Métodos de aturdimiento

Aturdimiento eléctrico (electronarcosis): Este método es el mayormente utilizado en las plantas de matanza, el cual consiste en el paso de corriente eléctrica a través del cerebro, con una intensidad de 1.25 amperes, lo suficientemente alta como para inducir la despolarización del sistema nervioso central y una desorganización de la actividad eléctrica normal, con ello provocan la inducción de la actividad epileptiforme tónica / clónica (Velarde et al., 2000a; McKinstry y Anil, 2004). El objetivo de la electronarcosis es inducir inconsciencia mediante la aplicación de suficiente corriente en la cabeza (OIE, 2015).

Durante esta fase el animal se vuelve insensible al dolor (Aguilera et al., 2015), esta insensibilidad ha sido relacionada con altos niveles de los neurotransmisores glutamato y aspartato, los cuales son liberados dentro del cerebro causando hiperexcitación de las neuronas, produciendo la actividad epiléptica, donde el cerdo muestra tres fases separadas en un aturdimiento eléctrico efectivo la fase tónica, la fase clónica y la fase de recuperación (McKinstry y Anil, 2004).

Existen dos formas básicas de aturdimiento eléctrico: “sólo cabeza”, donde las pinzas son colocadas a través de la cabeza; y el “aturdimiento de tres puntos”, en el que se pasa una corriente a través de la cabeza y el corazón. El aturdimiento sólo en la cabeza es reversible y el cerdo puede retornar a la sensibilidad a menos que se le desangre rápidamente. Mientras que el aturdimiento por ataque cardíaco matará a la mayoría de los cerdos deteniendo su corazón (Aguilera et al., 2015).

Una vez producida la estimulación eléctrica del cerebro, el cerdo entra en un estado de contracción muscular llamado fase tónica, que dura entre 10 y 20

segundos, caracterizada por la ausencia de la respiración rítmica y la sensibilidad al dolor, en seguida, el cerdo entra en la fase clónica, que tiene una duración de entre 15 y 45 segundos, donde se observan movimientos de pedaleo bruscos e involuntarios de las extremidades. Si el cerdo no es desangrado con rapidez, se corre el riesgo que pase a una fase de recuperación (30 a 60 segundos), en la cual retorna la respiración rítmica como indicativo de que ha recobrado la consciencia y, por lo tanto, debe ser aturdido de nuevo antes de ser desangrado (Acevedo et al., 2016).

Para que la corriente eléctrica pueda pasar a través del cerebro de manera adecuada, los electrodos se deben ubicar en la posición correcta, ya que, si los electrodos se ubican muy atrás en el cuello, resultará en un período de insensibilidad más corto (Velarde et al., 2000b). Al respecto, Grandin (2001) ha observado que, colocando el electrodo en la cabeza de un aturridor por paro cardíaco demasiado atrás en el cuello, resulta en el parpadeo de los cerdos, si se coloca el electrodo en la depresión detrás de la oreja se eliminan los reflejos de los ojos.

El aturdimiento eléctrico tiene como principales ventajas su reducido costo, la fácil aplicación y el no precisar de personal altamente calificado para su aplicación. Sin embargo, el uso sin control de esta técnica conlleva importantes pérdidas en la calidad de la canal tales como petequias, hemorragias y fracturas óseas (Velarde et al. 1999).

El flujo de electricidad por un objeto, como un cable, se conoce como corriente (I). Se mide en amperios (A); si la corriente es muy pequeña entonces se describe en miliamperios (mA), $1000 \text{ mA} = 1 \text{ A}$. La fuerza conductora (presión

eléctrica) tras el flujo de una corriente se conoce como voltaje y se mide en voltios (V) (también se puede referir al voltaje como la diferencia potencial o fuerza electromotora). La propiedad de un material que limita el flujo de corriente se conoce como resistencia (R), la unidad de resistencia es el ohmio (Ω). La denominación más correcta de la resistencia a una corriente alterna es impedancia pero, en esta aplicación, consideraremos que resistencia e impedancia son equivalentes. La relación entre corriente, voltaje y resistencia se expresa por la ley de Ohm: Corriente (I) = Voltaje (V) / Resistencia (R); esta ley determina que la corriente que fluye en un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito, siempre que la temperatura se mantenga constante. Para incrementar el flujo de corriente en un circuito, se debe elevar el voltaje o reducir la resistencia (HSA, 2014).

Los cerdos contienen una alta proporción de líquido que conducirá bien la electricidad; sin embargo, la piel, la grasa, el hueso y el pelo son malos conductores. La corriente eléctrica tomará el camino de menor resistencia a través del tejido animal, con el resultado de que solo una pequeña proporción de la corriente medida penetrará en el cerebro.

Aturdimiento con CO₂ (narcosis con dióxido de carbono): El sistema de aturdimiento con CO₂ no requiere la sujeción de los animales y actualmente permite el aturdimiento de cerdos en grupo, reduciendo así el nivel de estrés. Este método consiste en la introducción de los cerdos a una cámara con una concentración atmosférica entre 80% y 90% de CO₂ durante un tiempo suficiente para mantenerlos inconscientes, hasta la posterior muerte de los animales por desangrado. Actualmente el uso del aturdimiento de los animales en cámaras de

CO₂ se ha adoptado en diferentes establecimientos (rastros) en los que se procesan cerdos. Este método es empleado para promover la anestesia de los animales previo al desangrado y posteriormente muerte (Martoft et al., 2002).

Así mismo, el aturdimiento con CO₂ presenta como principales ventajas la rápida y completa insensibilización de varios animales a la vez, garantizando una inconsciencia progresiva y duradera hasta el desangrado, su capacidad de adaptarse fácilmente a plantas de sacrificio con elevados ritmos de producción, el estresar menos a los cerdos en el momento previo al sacrificio y, en general, proporcionar una mejor calidad de la canal y la carne (Velarde et al. 1999; Álvarez 2002).

Las evidencias en contra de ésta técnica se centran por un lado en su elevado costo de implantación y mantenimiento, y por otro lado, en las repercusiones negativas sobre el bienestar animal. Así, cuando se inhala una elevada concentración de CO₂ se puede generar sensación de asfixia en los animales porque su carácter ácido lo hace desagradable durante la aspiración (Gregory, 1994).

En México, Becerril et al. (2009) evaluaron los efectos de dos diferentes métodos de aturdimiento en valores sanguíneos de 658 cerdos en un establecimiento Tipo Inspección Federal, los cerdos aturdidos con CO₂ mostraron hipercapnia, hipercalcemia, hiperglucemia, acidosis láctica y aumento en el hematocrito, con pH reducido, PO₂ (presión parcial de O₂) y Na, en comparación con los cerdos aturdidos eléctricamente siendo diferentes (P<0.05) los cuales mostraron pH sanguíneo reducido, PCO₂ (presión parcial de CO₂) y PO₂ (presión parcial de O₂), concluyendo, que el aturdimiento de CO₂ conduce a un gran

desequilibrio debido al intercambio gaseoso a base de minerales y ácidos, en comparación con el aturdimiento eléctrico, lo que posiblemente compromete bienestar de los animales.

Acevedo et al. (2016) evaluaron en 520 cerdos la efectividad de dos métodos de aturdimiento en cerdos; la electronarcosis de tres puntos (MA1) y de narcosis con dióxido de carbono (CO₂) (MA2). Los movimientos oculares (36.7%) fueron signos frecuentes para MA1, mientras que en MA2 se evidenció la respiración rítmica (24.1%). La efectividad del aturdimiento fue baja en ambas plantas de sacrificio (48.7% y 50.5%) en el momento del pre desangrado y pos desangrado (79.5%, 37.3%) para los métodos MA1 y MA2 respectivamente. En los métodos evaluados se evidenció el colapso inmediato de los cerdos después del aturdimiento (100%) y una baja proporción de caídas, dentro de los criterios considerados como aceptables (<1%). No obstante, fueron frecuentes las vocalizaciones y los intentos de huida, en especial con el método MA2. Los resbalones en el método MA1 se observaron dentro de los rangos considerados como problema grave (>15%), al igual que las vocalizaciones (>10%). Los autores sugieren que las plantas requieren de un sistema para evaluar de manera rutinaria la efectividad del aturdimiento, así como un programa de mantenimiento preventivo de los equipos y de capacitación continua del personal.

Acevedo et al. (2016) destacaron que la efectividad está estrechamente relacionada con aspectos organizacionales de las plantas de sacrificio y del buen funcionamiento del equipo. Por tanto, consideran que no todos los animales son sometidos a los mismos procedimientos de manejo y varían de acuerdo con las características de cada especie, también recalcan que otro factor a considerar es

el diseño de las instalaciones, el nivel de capacitación del personal, la presencia de auditoría interna, entre otros aspectos.

Procedimiento de sacrificio

La Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO) menciona que después del aturdimiento, la muerte ocurre por desangrado al cortar las arterias carótidas y las venas yugulares o los vasos sanguíneos de los que surgen. Este corte se debe realizar en un lapso no mayor a 20 segundos posteriores al electro aturdimiento ya que los animales se pueden recuperar plenamente de un aturdimiento limitado a la cabeza que no provoque paro cardíaco y 30 segundos en el caso del aturdimiento con CO₂.

Es importante cortar limpiamente los principales vasos sanguíneos como se muestra en la Figura 1. Para garantizar que la pérdida de sangre sea rápida y profusa. Para garantizar que la pérdida de sangre sea rápida y profusa se ha demostrado que para todas las especies de carne roja, sea cual sea el tipo de aturdimiento eléctrico que se utilice, el método más efectivo de desangrado es el de incisión en el pecho, que corta todos los principales vasos sanguíneos cerca del corazón. Esto logra una rápida pérdida inicial de sangre y permite que se produzca antes la pérdida de función cerebral. La incisión siempre se debería realizar con un cuchillo afilado de al menos 12 cm de longitud (HSA, 2014).

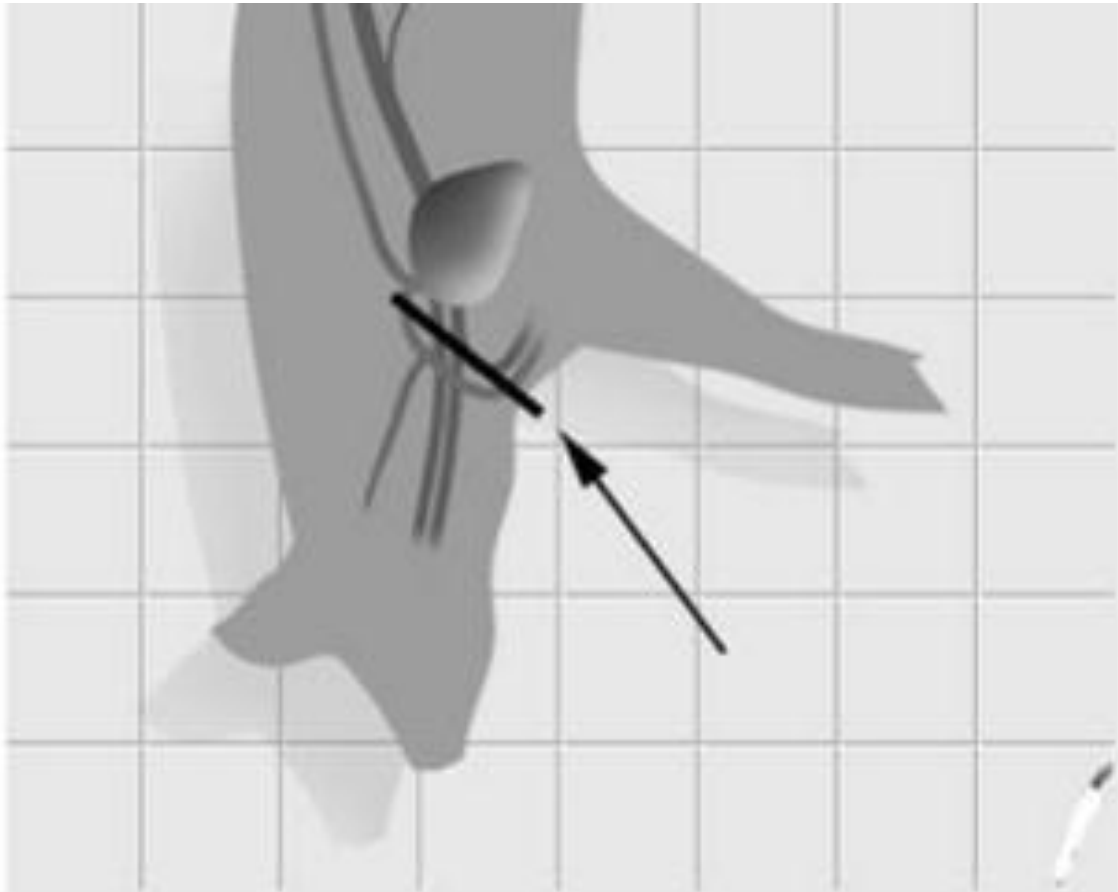


Figura 1. Corte de vena yugular y arteria carótida.

Además, la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 menciona que después del desangrado, el personal responsable o designado debe asegurarse de que el animal está muerto, por medio de la verificación de la ausencia del reflejo corneal, es decir, que los párpados estén inmóviles, la ausencia de respiración, de vocalización y que haya flacidez en las orejas y la cola.

Repercusiones en la canal

La calidad de la carne se puede definir como un conjunto de características cuya importancia relativa le confiere al producto un mayor nivel de aceptación y un mayor precio frente a los consumidores o a la demanda del mercado (Consigli, 2001). La conversión del músculo en carne ocurre después del sacrificio de los animales de abasto; sin embargo, esto no sucede de forma inmediata, pues los músculos tratan de mantener por un tiempo sus funciones fisiológicas. Ese tiempo, varía entre las diferentes especies y aún dentro de una misma especie. Antes del sacrificio, los músculos están rígidos por el sistema nervioso central y su actividad contráctil depende de impulsos nerviosos. Después de la muerte de los cerdos por desangrado persisten solamente reacciones de tipo reflejo que son visibles en algunos músculos (Asencios, 2004).

Existen numerosos factores ambientales y de manejo que están relacionados con la mortalidad. El ayuno antes del transporte, la mezcla de grupos sociales en cualquier etapa, las condiciones del transporte, la descarga y los movimientos durante la espera, sin olvidar el manejo por parte de los operarios en las plantas de sacrificio. Evidentemente, las circunstancias antes mencionadas

afectan el proceso de transformación que sufre el músculo al convertirse en carne, deteriorando gravemente su calidad (Castrillón et al., 2005).

La calidad de la canal se determina evaluando distintos parámetros, entre los que se encuentran, el rendimiento en canal, que es la relación que existe entre el peso de la canal y el peso vivo del animal. Asimismo, para determinar la calidad de una canal se valora su morfología (la longitud de la canal y su composición (porcentaje de tejido magro, de grasa y de hueso). La calidad de la carne se determina evaluando varios indicadores, tales como el pH, color y capacidad de retención de agua (Camacho et al., 2013).

Álvarez et al.(2005) evaluaron el bienestar animal y calidad de la canal según el sistema de aturdimiento; ellos reportaron que el aturdimiento eléctrico en comparación con el aturdimiento con CO₂ mostró bajos índices de calidad en la canal y una mayor incidencia de petequias (jamón 19%, lomo y grasa dorsal 20.9%), hemorragias, hematomas y fracturas óseas (articulación coxofemoral 4.4% y columna vertebral 3.2%).

Por otro lado, Jerez et al. (2013) realizaron un estudio con la finalidad de determinar los defectos de calidad en la canal porcina, reportaron que la proporción de carne con pH \geq 6.0 (carnes DFD) fue relativamente baja (menor a 5%). Además, las vértebras torácicas presentaron fracturas en una proporción de 5.62%; los autores atribuyen las fracturas de las vértebras torácicas al exceso de corriente utilizado (amperaje entre 1.53 a 2.25); ya que el tiempo de exposición o tiempo de aturdimiento en general fue menor (de entre 1.13 a 1.36 seg) al recomendado por la Norma Oficial Mexicana (3 a 5 seg).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración del estudio

El presente estudio se realizó en una Planta Tipo Inspección Federal ubicada en el km 12 de la carretera Culiacán-El Dorado, Zona Industrial de Culiacán, Sinaloa. Comprendió tres semanas con visitas diarias en el área de sacrificio porcino, entre los meses de enero y febrero de 2019, evaluando un total de 762 cerdos.

Características de las unidades de estudio

Las unidades de estudio fueron cerdos finalizados en engordas porcina comerciales; se clasificaron por peso vivo (PV) en tres categorías: ligeros (≤ 90 kg PV), estándar (90-119 kg PV), y pesados (≥ 119 kg PV). La evaluación de los animales fue durante la fase de aturdimiento previo al desangrado. Los cerdos provinieron de diecisiete granjas porcinas distribuidas en los diferentes municipios del estado de Sinaloa.

Metodología

Una vez que los cerdos arribaron a la planta de sacrificio, se alojaron en los corrales de espera durante 12 horas; al concluir el tiempo de espera, se arrearon a la sala de matanza. Se introdujeron individualmente al cajón de aturdimiento (1.90 m de largo x 90 cm de alto x 60 cm de ancho), con puerta hidráulica de apertura horizontal. Cada uno de los cerdos fue pesado utilizando una báscula de plataforma integrada marca Uniline[®] modelo H-754.

Para el aturdimiento de los animales se utilizó un sistema eléctrico con cuadro eléctrico modelo TS03N 240 V y tenaza sin pulsador 240 V (Gozlin

Societa, Modena, Italia). Durante el aturdimiento de éstos, se registró el amperaje y voltaje aplicado en cada uno de ellos el cual varió según el peso del cerdo. Una vez realizado el aturdimiento, se registró el cumplimiento del protocolo de aturdimiento en cada cerdo y la presencia o ausencia de: estiramiento tónico, pataleo clónico, vocalizaciones, caídos del riel, respiración rítmica, movimiento palpebral, movimientos oculares y reacción al corte de carótidas y yugulares, así como el tiempo entre el aturdimiento y desangrado de acuerdo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO/SAG-2104.

Para determinar las repercusiones en la canal posterior al eviscerado de éstas y antes de ingresar a los cuartos fríos, se tomó la medición de pH₄₅ min *post-mortem* con potenciómetro portátil de penetración (modelo HI 98140 Hanna Woonsocket[®], RI, EU), tomado de la parte interior de la pierna del cerdo a la altura de las caderas (Figura 2). La temperatura de la canal fue tomada de la parte interna de la pierna 45 min *post* sacrificio con un termómetro digital impermeable Deltatrak[®] (modelo 11050, Pleasanton, CA, USA).

La presencia o ausencia de fracturas se registró en tres áreas anatómicas: en vértebras cervicales, vertebras torácicas y vertebras sacras (Figura 3). Cuando se registró presencia de fracturas, se añadió la descripción de la severidad de las mismas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de la severidad de las fracturas en las canales

Categoría	Descripción	Núm. de Figura
0	Sin daño aparente	4
1- Fractura ligera	Aquella que no muestra perforación pero es visible una zona hemorrágica	5
2- Fractura moderada	Fractura y hemorragia visible	6
3- Fractura intensa	Fractura de tipo expuesta conminuta (múltiples fragmentos)	7

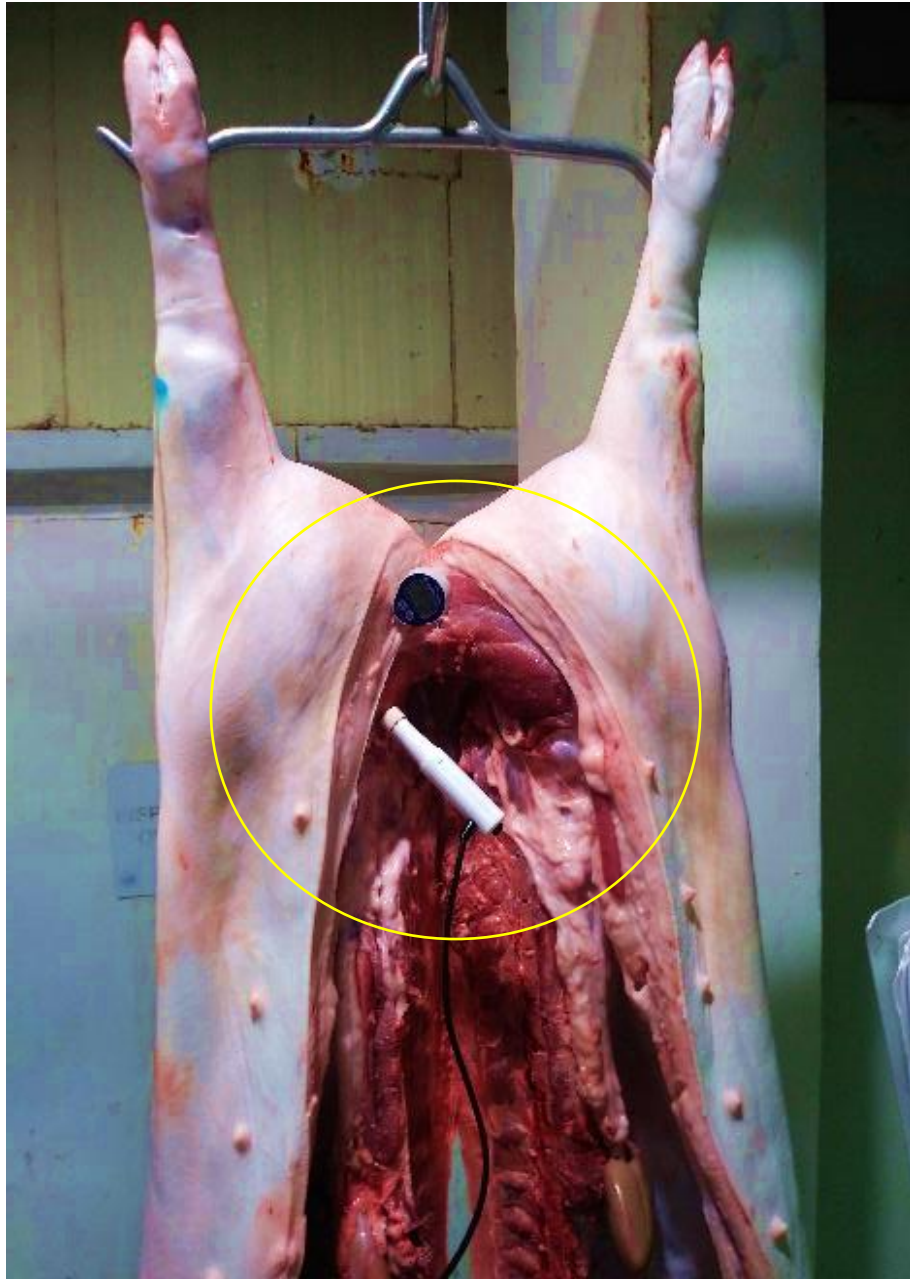


Figura 2. Sitio de toma de pH y temperatura.

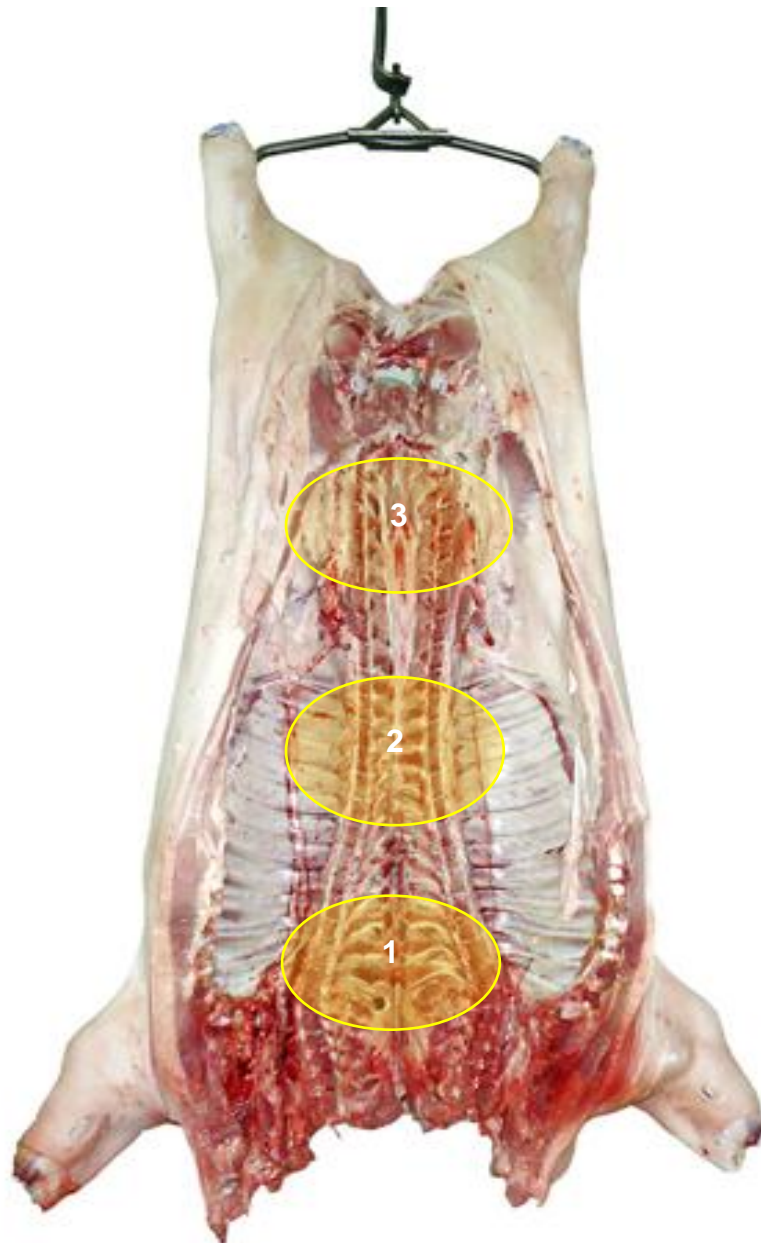


Figura 3. Áreas anatómicas: 1 (vértebras torácicas), 2 (vértebras lumbares) y 3 (vértebras sacras).



Figura 4. Canal sin daño aparente.



Figura 5. Fractura ligera.

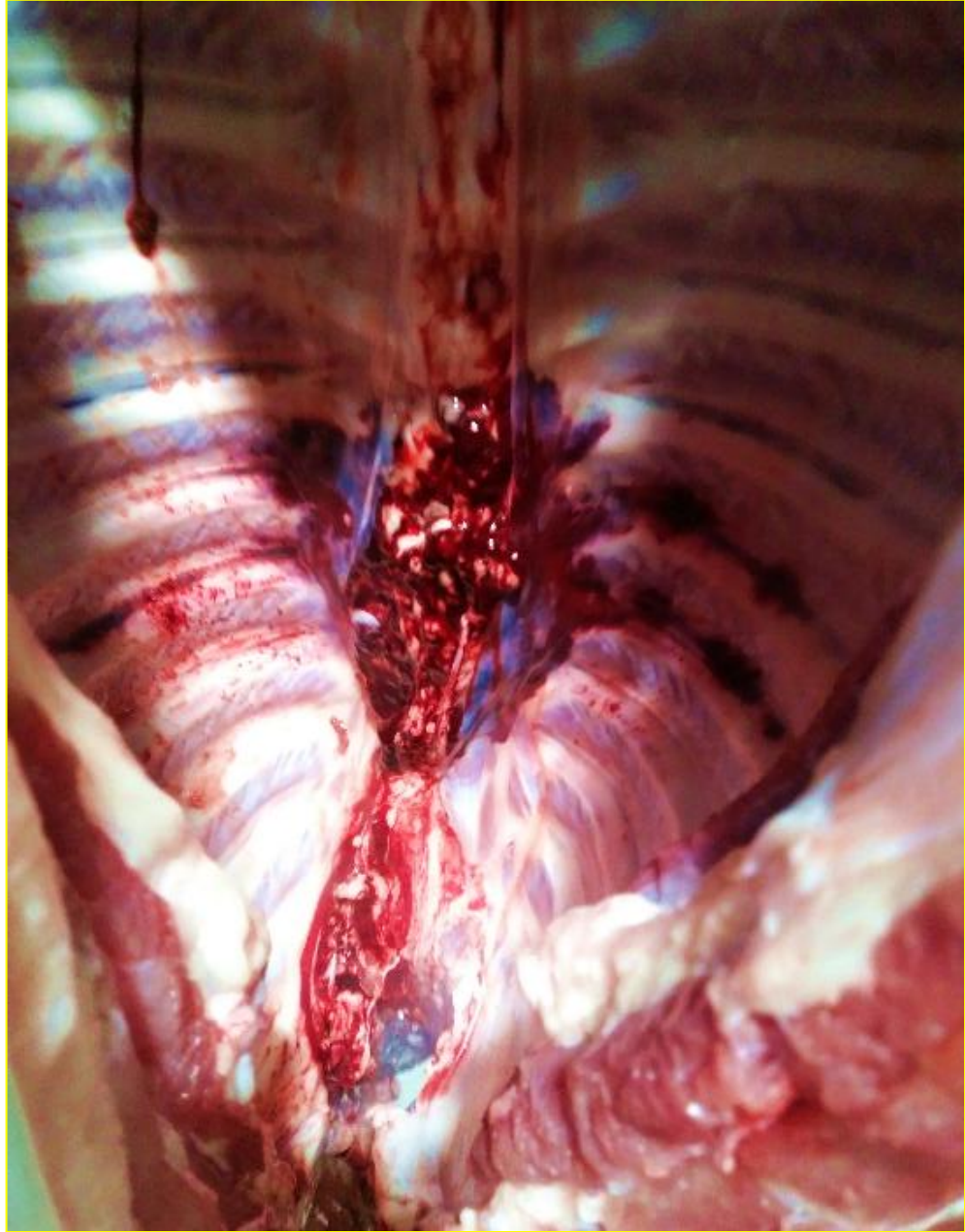


Figura 6. Fractura moderada.



Figura 7. Fractura intensa.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con la información generada se construyó una base de datos utilizando el paquete Excel. Se obtuvieron frecuencias y porcentajes para variables categóricas y estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión para variables continuas. La independencia tanto entre los componentes del aturdimiento como los indicadores de bienestar animal vs calidad de la canal fue evaluada utilizando el estadístico Chi-cuadrada en tablas de contingencia 2x2. La hipótesis de igualdad de efectos medios entre categorías de pesos se evaluó con el estadístico F en la tabla de análisis de varianza para un modelo lineal con solo un efecto fijo más el componente aleatorio del error. Se declaró diferencias entre categorías cuando $P < 0.05$ y los valores medios fueron contrastados con Tukey. El análisis de la información se realizó utilizando el programa estadístico SAS 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables evaluadas durante el sacrificio

Los valores medios de las variables evaluadas, de naturaleza cuantitativa, en los cerdos por categorías de peso al sacrificio, se muestran en el Cuadro 2.

Durante el proceso de sacrificio, el tiempo entre el aturdimiento y desangrado se realizó en un rango de valores medios entre 27.08 ± 7.60 y 28.24 ± 11.69 segundos en los tres diferentes grupos de cerdos. La Norma Oficial Mexicana, NOM-033-SAG/ZOO-2014 (Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres), menciona que el tiempo del desangrado, posterior al aturdimiento, no debe exceder los 20 segundos. Sumado a esto, Bolaños et al. (2014) sugieren que el intervalo entre aturdimiento y desangrado mayor a 18 segundos y en conjunto con el uso de un elevador lento para izar a los cerdos después del aturdimiento, se considera como uno de los factores determinantes para asegurar la efectividad del aturdimiento eléctrico.

En tal sentido, Grandin (2013) señala que los cerdos pueden retornar a la conciencia luego de un aturdimiento limitado a la cabeza, por lo tanto, se debe desangrar a los porcinos en los siguientes 18 segundos posteriores al aturdimiento para garantizar una muerte rápida (Voguel et al., 2011).

El valor promedio de pH_{45} fue de 6.42 unidades en los grupos de cerdos ligeros y estándar, mientras que en el grupo de cerdos pesados el valor fue el más alto con 6.49 unidades ($P < 0.008$) lo que indica que dichas canales son presuntivas a canales DFD, sin embargo, dicha condición solo puede corroborarse al evaluar pH_{24} ; al respecto Castrillón et al. (2005), al evaluar el pH_{45} en cerdos, registraron en

33.65% de las canales con pH₄₅ menor o igual a 5.8 unidades que fueron afectadas por la condición PSE y un 47.12% de las canales presentaron pH₄₅ con valor normal de 5.5 unidades para la especie porcina, mientras que el 19.23% de las canales denotaron la presencia de la condición DFD (pH₄₅ mayor e igual a 6.3 unidades). Resultados similares a los de Castrillón et al. (2005) fueron referidos por Marcon et al. (2019) al registrar el pH₄₅ en canales porcinas, con un valor de 6.30 unidades, presuntivas a DFD. Al respecto, Alvarado (2002) argumenta que si el valor del pH *post-mortem* no desciende de manera gradual, puede afectar atributos importantes sobre la calidad de la carne tales como color, capacidad de retención de agua y textura.

Autores como Van Laack (1994), Fernández (2001) y Castrillón et al. (2005) afirman que un pH₄₅ menor o igual 5.8 unidades indica la presencia de la condición PSE (pálida, suave y exudativa), mientras que según Castrillón et al. (2005), un pH₄₅ mayor o igual a 6.3 unidades determina la presencia de la condición DFD (oscura, firme y seca), ambas características son indeseables en la carne porcina.

Por otro lado, Castrillón et al. (2007) evaluaron 474 canales de cerdo e identificaron a las canales que registraron valores de pH₄₅ \geq 6.3, y al finalizar las 24 horas *post-mortem* el 79.31% de las canales presentaron pH dentro del rango promedio habitual para la especie porcina de entre 5.6 y 6.1, el 18.97% presentaron la condición PSE (pH inferior a 5.6) y el 1.72 % denotaron la presencia de la condición DFD (pH \geq a 6.2). Sin embargo, debido a las condiciones de logística en la comercialización de las canales de la planta de sacrificio donde se realizó este estudio no se pudo realizar la medición del pH a las 24 horas *postmortem* por lo que

no fue posible estimar la incidencia de canales con pH normal, o condición PSE o DFD.

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que durante el aturdimiento eléctrico, los valores del amperaje aplicado a los cerdos fue similar entre categorías de peso; mientras que el valor del voltaje entre categorías de peso fue diferente ($P > 0.05$). Al respecto, el amperaje que se aplicó fue mayor al recomendado por la NOM-033-SAG/ZOO-2014 ya que osciló entre 1.76 ± 0.43 a 1.85 ± 0.44 , mientras que el voltaje que se aplicó en los cerdos del presente estudio se encuentra dentro del valor que indica la Norma Oficial Mexicana “Métodos para dar muerte a animales domésticos y silvestres”, NOM-033-SAG/ZOO-2014, donde se establece que para llevar a cabo el correcto aturdimiento de los cerdos se debe aplicar una corriente eléctrica de 1.25 amperes y 200 voltios en cerdos con peso vivo de 100 kg.

Grandin (2013) menciona que el aturdimiento eléctrico induce una pérdida de conocimiento instantánea causando un ataque epiléptico en los cerdos. Sin embargo, al establecimiento TIF donde se llevó a cabo el presente estudio, arriban cerdos con diferente peso vivo; durante el aturdimiento se observó que no se regula ni el amperaje ni el voltaje para aplicar el aturdimiento eléctrico a los cerdos, por lo que el uso sin control de esta técnica con amperaje y voltaje fijo para cerdos con 100 kg puede resultar en importantes pérdidas en el bienestar animal y la calidad del producto final tal como lo describe Álvarez et al. (2005).

Cuadro 2. Valores medios de variables evaluadas durante el sacrificio en los cerdos

Variables evaluadas	Clasificación de pesos			Pr>F
	Ligeros (≤90 kg)	Estándar (90-119 kg)	Pesados (≥119 kg)	
Número de cerdos	54	587	121	
Peso vivo, kg	85.27±4.45	103.92±7.87	126.01±9.32	-
Peso canal caliente, kg	72.09±5.93	87.10±8.08	105.09±8.83	-
Temperatura canal, °C	40.86±0.99	40.99±0.69	40.92±0.54	0.266
Tpo aturdimiento-desangrado, s	28.24±11.69	27.34±8.97	27.08±7.60	0.159
pH 45 min	6.42±0.24 ^b	6.42±0.24 ^b	6.49±0.22 ^a	0.008
Amperaje (A)	1.85±0.44	1.81±0.42	1.76±0.43	0.395
Voltaje (V)	201.01±9.50 ^b	201.06±8.39 ^b	203.36±9.25 ^a	0.026

Los datos se presentan con Media ± E.E.

Evaluación de indicadores post aturdimiento

Annal (1991) menciona que posterior a la estimulación eléctrica del cerebro, el cerdo entra en un estado de contracción muscular llamado fase tónica (10 a 20 segundos), desapareciendo la respiración rítmica, el reflejo amenaza y la sensibilidad al dolor. Posteriormente, el animal entra en fase clónica (15 a 45 segundos) y comienza a efectuar movimientos bruscos e involuntarios con sus extremidades.

No obstante, en el Cuadro 3, se observan los indicadores post-aturdimiento de bienestar en los cerdos, el estiramiento tónico y el pataleo clónico se observaron porcentajes similares ($P > 0.05$) entre las categorías por peso de los cerdos, sin embargo el porcentaje tan elevado de pataleo clónico en las tres categorías supone un riesgo para para la seguridad del operario encargado de colocar el pial metálico en la extremidad posterior izquierda para izarlos al riel y posteriormente ejecutar el desangrado (Channon et al., 2003).

Cuadro 3. Frecuencias y valores porcentuales de indicadores de Bienestar animal post-aturdimiento en cerdos sacrificados con diferentes pesos

Indicadores de Bienestar Animal	Clasificación de peso						Pr>F
	Ligeros (≤90 kg) n=54		Estándar (90–119 kg) n=587		Pesados (≥119 kg) n=121		
	f _i	%	f _i	%	f _i	%	
Estiramiento tónico	17	31.48	141	24.02	26	21.49	0.357
Pataleo clónico	45	83.33	509	86.71	104	85.95	0.779
Estiramiento tónico x Pataleo clónico	8	14.81	9	7.44	66	11.24	-
Vocalización	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.000
Caído riel	0	0.00	7	1.19	3	2.48	-
Respiración rítmica	5	9.26	52	8.86	16	13.22	0.331
Movimiento palpebral	9	16.67	88	14.99	16	13.22	0.817
Movimiento ocular	38	70.37	377	64.22	80	66.12	0.636
Reacción al corte de carótidas y yugulares	13	24.07	160	27.26	41	33.88	0.266

La electricidad induce actividad eléctrica no coordinada (actividad epileptiforme), dejando al cerdo inconsciente, cuando se realiza un aturdimiento eléctrico de manera efectiva, el cerebro se ve gravemente estimulado, el cuerpo muestra actividad tónica/clónica y hay una pérdida total de conciencia (Annil, 1991).

Durante la primera fase (tónica) con una duración de 10 a 20 segundos, cuando la corriente fluye por el cerebro, el cerdo cae colapsado y deja de respirar, con las patas delanteras extendidas y rígidas y las patas traseras flexionadas hacia el cuerpo. En la segunda fase (clónica) con una duración de 15 a 45 segundos, el animal se relaja y comienza a dar patadas involuntarias con las cuatro patas. A medida que remite la actividad clónica, el animal pasa a la tercera fase (recuperación o agotamiento) (HSA, 2014). Una situación que pudo haber afectado dichos resultados, podría ser que el operario encargado del aturdimiento no realizó ningún ajuste al equipo de aturdimiento al momento de que los lotes de cerdos de diferentes pesos ingresaron a la sala de sacrificio.

En el presente estudio no se observaron vocalizaciones de los cerdos durante el aturdimiento eléctrico, esto puede ser debido a que esta variable se evaluó una vez que recibieron la corriente eléctrica para ser aturdidos al momento de izarlos en el riel. Gonzales et al. (2014) refieren que el 26.8 % de los cerdos vocalizó en el cajón de aturdimiento y fue observado como una respuesta indicadora de miedo, dolor, o estrés; ya que esta variable fue evaluada en el lapso de tiempo comprendido desde el ingreso de los cerdos al cajón de aturdimiento hasta el momento en que se aplicó la corriente eléctrica.

Aunado a esto, posterior al aturdimiento en el presente estudio, 10 cerdos cayeron del riel de desangrado al momento de ser izados, esto pudo ser ocasionado

por un error humano y se puede atribuir a las malas condiciones en las instalaciones de la planta de matanza y a la falta de capacitación del operario para realizar eficientemente su trabajo ya que no todo el tiempo se tuvo la precaución de colocar la polea para transportar a los cerdos sobre el riel, adicionalmente el porcentaje de pataleo en los tres grupos fue muy alto (>85.33%), que en conjunto pudo propiciar la caída de los cerdos tras el izado.

En cuanto a la respiración rítmica, definida como una respiración lenta, profunda y diafragmática, los valores fueron similares ($P>0.05$) entre categorías de peso y los cerdos pesados presentaron un 13.22% tal como lo registró Acevedo et al. (2016) posterior al desangrado con un porcentaje de 13.2%, y se considera como signo de conciencia en conjunto con otros indicadores de bienestar animal, tales como la vocalización, reacción al corte de venas y yugulares y movimiento palpebral.

De los indicadores de bienestar animal aunque fueron similares ($P>0.05$) la presencia de movimiento palpebral y ocular entre categorías por peso en los cerdos, sin embargo la presencia de estos parámetros indican que el cerdo ha iniciado el proceso de retorno a la sensibilidad confirmando la falla del amperaje o amperaje insuficiente, ya que el amperaje correcto es responsable de la inducción de la convulsión que asegura la insensibilización inmediata del cerdo (Briese 2000).

En un estudio realizado por González et al. (2014) en 1,341 cerdos evaluados, el 73.9% presentó movimiento palpebral, atribuido este indicador a la falla del amperaje del equipo de aturdimiento, ya que es considerado un indicador indirecto de la adecuada calibración del equipo en relación con el amperaje (A).

Al respecto, Grandin (2010) afirma que el movimiento ocular en forma conjunta con la respiración rítmica, el tiempo de desangrado mayor a 18 segundos y reacción al corte de venas y arterias son evidencia clara de conciencia posterior al aturdimiento en cerdos.

En los cerdos pesados, aunque no se muestra diferencia estadística, presentaron el porcentaje mayor de sensibilidad al corte de la arteria carótida y venas yugulares con un 33.88% vs 25.33% de las otras categorías de peso. En el presente estudio se observó en los cerdos pesados la mayor frecuencia de respiración rítmica, movimiento ocular y reacción al corte de carótidas y yugulares, se pudo observar que el tiempo de aplicación de las pinzas eléctricas no correspondían en forma homogénea en todos los animales ya que el equipo no cuenta con un dispositivo para que el operador cuantifique el tiempo en cada animal, y esto pudo haber propiciado que algunos animales tuvieran mayor tiempo y otros menor, en la aplicación de las pinzas para el aturdimiento, pudiendo observar en la práctica que el tiempo era más reducido a los 4 segundos, lo cual no corresponden a los valores establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO/ZAG-2014, teniendo en cuenta que el tiempo de la aplicación de las pinzas eléctricas en cerdos es de 4 a 7 segundos para lograr un aturdimiento correcto.

De acuerdo con Grandin (2012), los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la inefectividad del sacrificio pudo estar relacionada principalmente con el inadecuado contacto de los electrodos con la piel del cerdo, el grado de hidratación de los porcinos y la cantidad de agua aplicada sobre la piel durante el baño de los cerdos. Al respecto, la EFSA (2004) menciona que las fallas

en la configuración eléctrica (amperaje, voltaje y la frecuencia de la pinza de insensibilización), el mantenimiento preventivo del equipo antes del inicio de las operaciones y la falta de estandarización del proceso son otros de los factores que pueden atribuirse a un aturdimiento ineficaz.

Evaluación de fracturas en los canales

En el Cuadro 4 se muestran la ubicación anatómica y severidad de las fracturas encontradas en los cerdos sacrificados. La proporción de fracturas entre categorías de peso de los cerdos fue diferente ($P < 0.001$) con mayor proporción de presentación en el grupo de los ligeros (29.63%), acorde a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana el amperaje a utilizar en cerdos de 100 kg de PV es de 1.25 amperes y evidentemente el valor de amperaje en esta categoría fue de 1.85 amperes, lo que indica que no concuerda con lo establecido con la NOM-033-SAG/ZOO-2014.

De acuerdo con la ubicación anatómica, mayormente se presentaron fracturas en el área torácica independientemente del peso de los cerdos, esto se debe a que el área torácica se encuentra más cerca de la cabeza, que es donde se colocan las pinzas con corriente eléctrica para inducir el aturdimiento en los cerdos (Lambooij 1994).

La mayor proporción de fracturas en el área torácica fue observada en el grupo de cerdos ligeros (27.78%), esto debido a que en la planta de estudio el amperaje calibrado en el equipo fue superior al recomendado para cerdos con pesos comerciales por la Norma Oficial Mexicana (1.25 A para cerdos de 100 kg de PV).

En cuanto a la severidad de las lesiones hubo mayor porcentaje en las fracturas con severidad de grado 1, lo que significa que las fracturas no muestran perforación, pero son visibles las zonas hemorrágicas; sin embargo, se observan diferencias ($P < 0.025$) en la proporción de fracturas con diferentes grados de severidad.

En este estudio, la presencia de fracturas en cerdos del grupo pesado (mayor o igual a 106 kg) fue del 8.26%; al respecto, Marcon et al. (2019) refieren que el 10% de los cerdos aturdidos con peso vivo promedio de 125 ± 5.3 kg presentaron fracturas en la región lumbosacral utilizando un sistema de aturdimiento de tres puntos: dos delante de las orejas, en las fosas temporales (1.4 A y 350 V) y uno en el corazón (0.60 A y 90 V), en el presente estudio se utilizó un sistema eléctrico “solo cabeza”, y sólo un cerdo presentó fractura en la región lumbar.

En cuanto a la ubicación anatómica de las fracturas, Wotton et al. (1992) observaron mayor frecuencia de fracturas en las vértebras torácicas, seguidas de las vértebras lumbares, dichos autores atribuyen que la mayor frecuencia de fracturas en los cerdos es debido a la proporción de masa muscular, que puede estar genéticamente relacionada con uno o más factores como la fuerza ósea reducida, tamaño reducido en relación con el peso vivo o la tendencia a producir un animal más pequeño con una mayor masa muscular. Al respecto, Alberton et al. (2016) afirman que la causa de las fracturas es debida a la fuerza que la masa muscular transfiere a las vértebras cuando éstas son contraídas por la acción de la corriente eléctrica.

En un estudio evaluando el aturdimiento eléctrico “solo cabeza” Channon et al. (2003) reportaron que el 24% de los cerdos evaluados presentaron algún tipo de

fractura, y fueron en las vértebras torácicas y en la escápula donde se une con el húmero, los principales sitios de fracturas óseas resultantes de la aplicación de corriente eléctrica, resultado similar al de este estudio (27.78 % de fracturas en vertebras torácicas).

Cuadro 4. Frecuencia, área anatómica y grado de severidad de fracturas en canales de cerdos bajo diferentes categorías de peso al sacrificio

	Categoría de peso			Pr>F
	Ligeros (≤90 kg)	Estándar (90-119 kg)	Pesados (≥119 kg)	
Número de cerdos	54	587	121	
Frecuencia de fracturas	16 (29.63) ^a	97 (16.54) ^b	10 (8.26) ^c	0.001
Ubicación anatómica				
Cervical	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (0.83)	-
Lumbar	1 (1.85)	8 (1.36)	1 (0.83)	-
Torácica	15 (27.78) ^a	89 (15.16) ^b	8 (6.61) ^c	0.003
Severidad				
1	7 (12.96) ^a	48 (8.18) ^b	7 (5.79) ^c	0.025
2	6 (11.11) ^a	30 (5.11) ^b	2 (1.65) ^c	0.025
3	3 (5.56) ^a	19 (3.24) ^b	1 (0.83) ^c	0.025

Los valores en el cuadro son frecuencias y entre paréntesis valores porcentuales.

Severidad de fracturas: 1 (ligera); aquella que no muestra perforación, pero es visible una zona hemorrágica, 2 (moderada); fracturas y hemorragias visibles y 3 (intenso); fractura de tipo expuesta conminuta (múltiples fragmentos).

CONCLUSIONES

La alta presencia de indicadores post-aturdimiento en los cerdos en las tres categorías de peso indica un inadecuado proceso de aturdimiento eléctrico observando mayor presencia de movimiento ocular y palpebral en las tres categorías.

El uso de un amperaje mayor al sugerido por la Norma Oficial Mexicana ocasionó la presencia de fracturas con diferente grado de intensidad de daño en la canal, siendo principalmente en el área torácica con grado 1 de acuerdo a su severidad.

En base a los resultados observados en este estudio es recomendable calibrar el equipo de aturdimiento eléctrico de acuerdo al peso de los cerdos y realizar capacitaciones periódicas en el uso del equipo a los operarios de la planta de sacrificio.

LITERATURA CITADA

- Anil M. 1991. Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science* 30: 13-21.
- Acevedo, J. D., M. H. Romero y J. A. Sánchez. 2016. Efectividad de dos métodos de aturdimiento de cerdos: electronarcosis de tres puntos y narcosis con CO₂. *Rev. Inv. Vet. Peru.* 4: 668-679.
- Adzitey, F., and H. Nurul. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences - a mini review. *International Food Research Journal.* 18: 11-20.
- Aguilera E., R. Ramírez, D. Mota, P. Roldan, M. Becerril y M. Alonso. 2015. Efecto del método de aturdimiento en el perfil fisiometabólico de cerdos sacrificados en tres diferentes rastros. *Rev. Científica.* 25: 412-419.
- Alberton, G. C., L. M. Moreira, C. E. Penner, D. G. Donin y P. Triches. 2016. Aspectos macroscópicos de vértebras de suínos fraturadas durante o processo de abate. *Archives of Veterinary Science.* 21: 77-85.
- Alvarado, C. 2002. Current issues in the poultry industry: meat quality and moisture retention. *Nutritional Biotechnology in the feed and food Industries. Proceedings of Alltech's Eighteenth Annual Symposium.* Edited by T. P. Lyons and K. A. Jacques. Nottingham UK. p. 13 - 20.

- Álvarez D. 2002. Influencia de las condiciones ante-mortem y la tecnología del sacrificio sobre la calidad de la carne porcina. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. p. 195-230.
- Álvarez, D., M. D. Garrido, S. Bañón y J. Laencina. 2005. Bienestar animal y calidad de la canal porcina según el sistema de aturdimiento. An. Vet (Murcia). 21: 77-85.
- Asencios, R. 2004. Variación del pH en la carne de cerdos beneficiados con aturdimiento eléctrico y sin aturdimiento. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. p. 1-30.
- Becerril, M., D. Mota, I. Guerrero, A. Schunemann, C. Lemus, M. González, R. Ramírez y A. Spilsbury. 2009. Aspectos relevantes del bienestar del cerdo en tránsito. Rev. Vet. Mex. 40: 315-329.
- Bolaños D., D. Mota, I. Guerrero, S. Flores, P. Mora and P. Roldán. 2014. Recovery of consciousness in hogs stunned with CO₂: physiological responses. Meat Science 98: 197-197.
- Bourguet, C. V. Deiss, C. Tannugi and C. Terlouw. 2011. Behaviour and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. Meat Science. 88: 158- 168.
- Briese A. 2000. Evaluation for the return of reflexes (eye reflexes and nose pinch reactions) after electric stunning of slaughter hogs and comparison of electrode positions, variations of time between stunning and bleeding,

and different frecuencies of electric current. Doctoral Thesis, Freie. Universität Berlin, Berlin, Germany.

Camacho, C., M. E. Arechavaleta, D. Braña y F. J. Ramírez. 2013. Factores genéticos que influyen en la calidad de la carne de cerdo. INIFAP. Folleto técnico No. 32: 1-26.

Castrillón W. E., J. A. Fernández y L. F. Restrepo. 2007. Variables asociadas con la presentación de carne PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en canales de cerdo. Rev. Mex. Cienc. Pec. 20: 327-338.

Castrillón W. E., J. Fernández y L. Restrepo. 2005. Determinación de carne PSE (Pálida, suave y exudativa) en canales de cerdo. Rev. De la Fac. de Química Farmacéutica. 12: 23-28.

Channon H.A., A. M. Payne and R. D. Warner. 2003. Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. Meat Science. 65: 1325-1333.

Consigli, R. 2001. ¿Qué es la calidad de la carne? Sitio argentino de bienestar animal. Sexta Jornada el negocio de la carne. Universidad Católica de Córdoba. p. 1-5.

Denaburski, J. 2001. Causas más importantes y sistemas de prevención de casos de carne porcina defectuosa tipo PSE. Anaporc Revista de porcicultura N° 217 Año XXI - diciembre. p. 35-43.

EFSA, European Food Safety Authority. 2004. Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. EFSA Journal 45: 1-29.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Perspectivas alimentarias. Resúmenes de mercado. Disponible en: <http://www.fao.org/3/b-i4581s.pdf>.

González, L. M, M. Romero y J. Sánchez. 2014. Evaluación de la eficacia del método de insensibilización por electronarcosis en porcinos. Arch. Med. Vet. 46: 139-146.

Grandin T. 2001. Solving return to sensibility problems after electrical stunning in commercial pork slaughter plants. JAVMA. 219: 608-611.

Grandin T. 2010. Auditing animal welfare at slaughter plants. Meat Sci. 86:56-65.

Grandin T. 2012. Recommended Animal Handling Guidelines & Audit Guide: A systematic Approach to Animal Welfare. AMI Foundation, Washington DC, USA.

Grandin T. 2013. Making slaughterhouses more humane for cattle, pigs, and sheep. Annu Rev Anim Biosci 1:491-512.

Gregory N.G. 1994. Preslaughter handling, stunning and slaughter. Meat Science. 36: 45-56

HSA, Humman Slaughter Association. 2014. Electrical Stunning of Red Meat Animals. Disponible en URL:

<https://www.hsa.org.uk/downloads/publications/electricalstunningdownload.pdf>.

Jerez N. M. T. Súlbaran, L. A. De Moreno, A. Rodas, J. Trompíz y J. Ortega. 2013. Determinación de defectos de calidad en la canal y carne de cerdo mediante el uso de auditorías. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 4: 13-30.

Lambooij E. 1994. Electrical stunning by direct brain stimulation in pigs. *Meat Science.* 38: 433-441.

Marcon, A. V., F. R. Caldara, G. F. de Oliveira, L. M. Gonçalves, R. G. Garcia, I. C. Paz, ICLA, C. Crone and A. Marcon. 2019. Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter. *Meat Science.* 156: 93-97.

Martoft L., L. Lomholt, C. Kolthoff, B. E. Rodríguez, E. W. Jensen, P. F. Jorgensen, H. D. Pedersen and A. Forslid. 2002. Effects of CO₂ anesthesia on central nervous system activity in swine. *Laboratory Animals.* 36: 115–126.

Méndez, D., M. S. Rubio y A. Schunemann. 2013. Manual de bienestar animal para operarios de matanza de rastros de cerdo. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). No. 109127.

McKinstry J. L. and M. H. Anil 2004. The effect of repeat application of electrical stunning on the welfare of pigs. *Meat Science.* 67:121-128.

NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación. Disponible en www.dof.gob.mx.

Novak, B., T. V. Mueffling and J. Hartung. 2007. Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality. *Meat Science*. 75: 290-298.

OIE, Organización Mundial de Sanidad Animal. 2015. Código sanitario para animales terrestres. Cap. 7.5. Disponible en URL: http://www.oie.int/index.php?id=169&L=2&htmfile=chapitre_aw_slaughter.htm.

Velarde A., M. Gispert, A. Diestre. 1999. Sistemas de aturdimiento en porcino: efectos sobre el bienestar animal y la calidad del producto final. *Eurocarne* 76: 55-60.

Velarde A., M. Gispert, L. Faucitano, X. Manteca and Diestre A. 2000a. Survey of the effectiveness of stunning procedures used in Spanish abattoirs. *Veterinary Record*. 146: 65-68.

Velarde A., M. Gispert, L. Faucitano, X. Manteca and A. Diestre. 2000b. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and hemorrhages in pork carcasses. *Meat Science*. 55: 309-314.

Vogel K. D., G. Badtram, J. R. Claus, T. Grandin, S. Turpin, R. E. Weyker and E. Voogd. 2011. Head-only followed by cardiac arrest electrical stunning

is an effective alternative to head-only electrical stunning in pigs. *J Anim Sci.* 89: 1412-1418.

Zivotofsky A. Z. and R. D. Strous. 2012. A perspective on the electrical stunning of animals: Are there lessons to be learned from human electroconvulsive therapy (ECT)? *Meat Sci.* 90: 956-961.

Wotton, S.B., M. H. Anil, P. E. Whittington and J. L. McKinstry. 1992. Pig Slaughtering Procedures: Head-to-Back Stunning. *Meat Science.* 32: 245-250.