

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Factores que Afectan la Calidad de la Carne de Cerdo

Por:

ERIC VAZQUEZ PUENTES

MONOGRAFIA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Factores que Afectan la Calidad de la Carne de Cerdo

por:

ERIC VAZQUEZ PUENTES

MONOGRAFIA

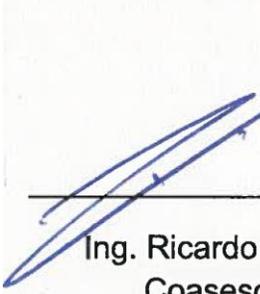
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

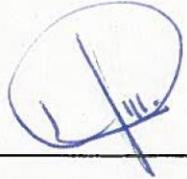
Aprobada por el Comité de Asesoría:



M.C. Manuel Torres Hernández
Asesor principal



Ing. Ricardo Deyta Monjaras
Coasesor



Ing. Roberto A. Villaseñor Ramos
Coasesor



Dr. José Dueñez Alanís



Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por regalarme la vida y permitirme cumplir otra meta más y llenarme de bendiciones durante el proceso.

A mis padres, por su incondicional apoyo durante este proceso, por permitirme cumplir una de mis más importantes metas y por darme el mejor de los ejemplos de superación.

A mis familiares, por su gran apoyo moral.

A mis asesores, M.C. Manuel Torres Hernández, el ING. Ricardo Deyta Mojaras, Ing. Roberto A. Villaseñor Ramos por haberme brindado su tiempo y conocimientos para poder concluir este trabajo.

DEDICATORIAS

A mis padres, José Natividad Vazquez y Rita Puentes Aldaco por ayudarme a cumplir mis sueños y tener su apoyo incondicional durante todo este proceso.

A mis hermanos, Francisco Manuel Vazquez y Jonatán Vazquez por sus palabras de motivación y apoyo incondicional.

A mis abuelos, por sus palabras de apoyo y sabios consejos.

A mi abuela Rosa Cano, que desde el cielo estaría muy orgullosa de este logro.

A mis tías y tíos, Susana Puentes, Aracely puentes, Antonio Puentes y cada uno de ellos por su incondicional apoyo en los momentos más difíciles.

A mi amada novia, Alondra Ortiz Santillano por su gran apoyo moral y por estar siempre en cada logro.

INDICE

Contenido	Pagina
ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS	I
RESUMEN.....	II
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo	2
Justificación.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Calidad de la carne	3
Criterios para determinar la calidad de la carne.....	3
Firmeza	4
Jugosidad.....	4
Ternura	4
Sabor	4
Características de la carne de cerdo.....	5
Carne PSE (pálida, suave y exudativa).....	6
Carne DFD (oscura, firme y seca).....	7
Factores que influyen en la calidad de la carne	7
Factores ambientales y de manejo	7
Factores ambientales.....	8
Factores de manejo.....	8
Estabulación antes del sacrificio	8
Factores genéticos.....	10
Fisiopatología del síndrome de estrés porcino.....	12
Identificación del gen halotano	12
Factores nutricionales	13
Sexo	14

Edad y peso	14
Transporte	15
Tipos y características de los vehículos para transportar animales	16
a) Pisos, paredes y divisiones.....	17
b) Temperatura, humedad y ventilación	17
c) Equipos adicionales	19
d) Densidades de carga	20
e) Duración del viaje	21
Aturdimiento.....	22
Aturdimiento eléctrico	22
Conducción al sacrificio.....	23
Temperatura corporal	23
Restricción de alimento	24
pH y capacidad de retención de agua.....	25
Sangrado	26
Escaldado	27
Enfriamiento de la canal	27
Duración del proceso de sacrificio	28
Proceso de conversión del musculo a carne.....	29
a) Muerte celular o Apoptosis	29
b) Rigor Mortis.....	30
c) Maduración.....	30
CONCLUSIÓN.....	32
LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1. Principales características relacionadas con la calidad de la carne desde el punto de vista de diferentes eslabones en la cadena de producción-consumo5

Figura 2. Influencia de la sensibilidad genética al halotano y de manejo sobre la incidencia de presentar carnes PSE.....7

Figura 3. Evolución del pH según la calidad de la carne (Normal, PSE, DFD, y ácida)27

Figura 4. Proceso de conversión del musculo a carne32

Cuadro 1. Efectos del ambiente en calidad de la carne de cerdo9

Cuadro 2. Características de la canal de cerdos Zungo y Duroc y sus cruzas11

RESUMEN

La calidad de la carne de cerdo es afectada principalmente por factores en granja, de genética, en el transporte y en la planta de procesado. Se conoce que tanto el productor como el empaquetador contribuyen al deterioro potencial de la calidad de la carne fresca. Se debe hacer notar que cualquier cosa que se haga a los animales, las canales o los productos puede repercutir en la calidad. Un sistema de aseguramiento de la calidad debe vigilar todo el proceso desde la granja hasta el consumidor.

La calidad de la carne porcina no puede considerarse como algo unívoco, ya que diferentes sistemas de explotación y distintas finalidades tecnológicas pueden juzgar como parámetros de calidad características opuestas. Dentro de la calidad tecnológica, el ritmo de descenso del pH durante el rigor mortis determina la aparición de carnes con características anómalas e inadecuadas para el procesado, como son las PSE y las DFD. Este tipo de problemas se relaciona con la existencia de agentes estresantes en los momentos cercanos al sacrificio.

Por otra parte, en relación con el contenido graso de la carne porcina, tras haberse conseguido una sustancial reducción del mismo, en los últimos años, vuelve a apreciarse que el veteado sea suficiente, lo que ha llevado a emplear con frecuencia la raza Duroc por su elevado contenido en grasa intramuscular. Pero no sólo el contenido, sino también la composición de la grasa tienen una importancia vital sobre la calidad sensorial de la carne, ya que determina su fluidez a temperatura ambiente y la tendencia a oxidarse durante el almacenamiento o el procesado. Otro atributo relacionado con la calidad sensorial, la textura, se encuentra relacionado con el grado de contracción muscular, el contenido y naturaleza del colágeno y el grado de integridad de las miofibrillas. En concreto, es necesario conocer la afectación que algunos factores propician a la carne de cerdo.

INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo es una de las más producidas en el mundo: en 2010 se produjeron 108.9 millones de toneladas (Mt), en 2014 fueron 110.5 Mt y para 2015 se incrementó 0.3% (110.9 Mt) (USDA, 2016). Para este último año, China fue líder con 51% (56.6 Mt), la Unión Europea y Estados Unidos aportaron 22.6 y 10.5% respectivamente (USDA, 2016) y Hong Kong y China sobresalieron con 67.7 y 42.5 kg per cápita (Porcimex, 2017).

En México la producción de carne de cerdo la llevan a cabo 5 800 productores. En 2010 el país aportó 1.1 Mt al total mundial (1.2%) y para 2016 1.4 Mt, lo cual lo posicionó en el lugar décimo sexto. Por entidad federativa, en 2016, Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz, Guanajuato y Michoacán aportaron 0.9 Mt (65.9%). En cuanto al consumo, destacaron la Ciudad de México y el Estado de México como los más importantes (SNIIM, 2016; Porcimex, 2017).

La calidad de la carne es afectada por muchos factores tanto ambientales como nutricionales y genéticos. El aseguramiento de la calidad se inicia con una actitud a hacer las cosas en todo el proceso de producción de tal forma que aumente la calidad y la seguridad y que se minimicen los riesgos (Rebollar *et al.*, 2019).

La calidad de la carne de cerdo está influenciada por factores que incluyen genética, manejo de los animales durante el sacrificio, procedimientos de manejo de las canales y técnicas de enfriamiento. Las deficiencias de calidad que más preocupan a los procesadores de carne de cerdo son: grasa excesiva, color, baja retención de agua, sabor y olor desagradable, así como la inconsistencia del peso vivo, y la presencia de abscesos y contusiones de las canales (Zenteno *et al.*, 2019).

Los avances genéticos en la selección de cerdos con el objetivo de que produzcan mayor proporción de carne magra han sido muy notorios. No obstante, en este afán de seleccionar animales magros, se ha fijado también el perfil genético que predispone a los cerdos a padecer consecuencias de estrés (Valencia, 2020).

La calidad obtenida en la granja debe mantenerse durante el sacrificio. Si el sacrificio no se realiza adecuadamente se afecta negativamente la calidad de la carne, favoreciendo el desarrollo del músculo DFD y PSE así como la aparición de petequias o puntos hemorrágicos causadas por la intensidad y duración de las descargas eléctricas durante la insensibilización y electro estimulación; de tal forma, que los últimos cinco minutos previos al sacrificio son decisivos para la calidad de la carne (Reyna *et al.*, 2016).

En este contexto la calidad de carne se ve influenciada tanto por el proceso ante mortem como post mortem. Por lo tanto, esta investigación bibliográfica se enfoca en analizar los factores que tienen mayor influencia en la calidad de la canal del cerdo.

Objetivo

Esta revisión bibliográfica se hace con la finalidad de mostrar las diferentes opiniones y resultados de diferentes autores sobre aquellos factores externos e internos de la granja que afectan la calidad de la carne del cerdo para así poder realizar acciones estratégicas que permitan ofrecerle al consumidor un producto de excelente calidad.

Justificación

Esta información permitirá al interesado conocer aquellos factores de importancia que podrían afectar la calidad del producto final, que es la carne de cerdo, y así tomando en cuenta todos estos factores poder tomar acciones para producir un producto de excelente calidad.

REVISIÓN DE LITERATURA

Calidad de la carne

La FAO (2020) señala que la calidad de la carne se define generalmente en función de su calidad composicional (coeficiente magro-graso) y de factores de palatabilidad tales como su aspecto, olor, firmeza, jugosidad, ternura y sabor. La calidad nutritiva de la carne es objetiva, mientras que la calidad “como producto comestible”, tal y como es percibida por el consumidor, es altamente subjetiva.

Criterios para determinar la calidad de la carne

Identificación visual

La identificación visual de la carne de calidad se basa en su color, veteado y capacidad de retención de agua. El veteado consiste en pequeñas vetas de grasa intramuscular visibles en el corte de carne. El veteado tiene un efecto positivo en la jugosidad y el sabor de la carne. La carne debe presentar un color normal y uniforme a lo largo de todo el corte. Las carnes de vacuno, cordero y cerdo deberían además estar veteadas (Reyna *et al.*, 2016).

Olor

Otro factor indicador de calidad es el olor. El producto debe tener un olor normal, que diferirá según la especie (p.ej., vacuno, cerdo, pollo), pero que variará sólo ligeramente de una especie a otra. Deberá evitarse la carne que desprenda cualquier tipo de olor rancio o extraño (Bautista *et al.*, 2013).

Firmeza

La carne debe aparecer más firme que blanda. Cuando se maneja el envase para uso y distribución al por menor, debe tener una consistencia firme pero no dura. Debe ceder a la presión, pero no estar blanda (Bautista *et al.*, 2013).

Jugosidad

La jugosidad depende de la cantidad de agua retenida por un producto cárnico cocinado. La jugosidad incrementa el sabor, contribuye a la blandura de la carne haciendo que sea más fácil de masticar, y estimula la producción de saliva. La retención de agua y el contenido de lípidos determinan la jugosidad. El veteado y la grasa presente en los bordes ayudan a retener el agua. Las pérdidas de agua se deben a la evaporación y goteo. El envejecimiento post-mortem de la carne puede incrementar la retención de agua y, en consecuencia, aumentar la jugosidad (Reyna *et al.*, 2016).

Ternura

Está relacionada con diversos factores como la edad y el sexo del animal o la posición de los músculos. Un factor que incide positivamente en la ternura de la carne es el envejecimiento post-mortem. Las canales se envejecen almacenándolas a temperaturas de refrigeración durante un cierto período de tiempo después de la matanza y el enfriamiento inicial (Reyna *et al.*, 2016).

Sabor

El sabor y el aroma se conjugan para producir la sensación que el consumidor experimenta al comer. Esta sensación proviene del olor que penetra a través de la nariz y del gusto salado, dulce, agrio y amargo que se percibe en la boca. En el sabor de la carne incide el tipo de especie animal, dieta, método de cocción y método de preservación (p.ej., ahumado o curado) (Bautista *et al.*, 2013).

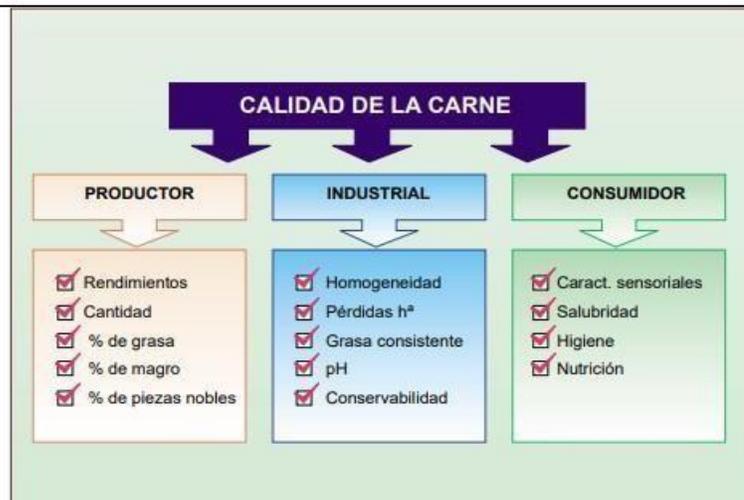


Figura 1. Principales características relacionadas con la calidad de la carne desde el punto de vista de diferentes eslabones en la cadena de producción y consumo.

(Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/220036861> La calidad de la carne en porcino. Ruiz, 2004)

Características de la carne de cerdo

- Alta digestibilidad.
- Buena palatabilidad.
- Una porción de 100 grm aporta 52% de la proteína requerida por el ser humano. La misma porción aporta el 9% de las calorías necesarias.
- Es baja en colesterol antes 93 mmg en 100 gr ahora 55 mmg en estos mismos 100 gr.
- Rica en vitaminas sobre todo en el complejo B (Tiamina y minerales).
- El valor nutricional de la carne va a depender de la historia del engorde del cerdo, de la manera como se hizo la matanza y como esta fue cocida. (Escobar, 2017).

Carne PSE (pálida, suave y exudativa)

La carne PSE es un defecto propio del cerdo, se presenta en porcinos que han sufrido un estrés agudo previo o al momento del sacrificio o tienen una gran sensibilidad genética a este. Sucede una glucólisis acelerada post mortem por todo el ácido láctico acumulado que no puede ser transportado fuera del musculo, llegando a alcanzar valores por debajo de 5,8 a los 30 – 45 minutos post sacrificio, para luego estabilizarse hasta las 4 horas post mortem (Loayza,2017)

Esta carne posee un color más pálido y menos rosado debido a la alteración de la refracción de luz. La desnaturalización de las proteínas causa mayor dispersión de la luz. Un alto grado de dispersión va a reducir el paso de la luz a través de la carne, la absorción de las longitudes de ondas se ve disminuida.

La flacidez anormal en estas carnes puede deberse al colapso del retículo de los miofilamentos y la dispersión del líquido intracelular y sarcoplasmático, disminuyendo su firmeza y estabilidad. Este tipo de carne tiene menos aceptación por parte del consumidor debido a su aspecto, y por parte de los comerciantes por sus mermas. Su baja retención de agua es un impedimento para ser usado en la producción de embutidos (Loayza, 2017).

Son diversos los factores ante-mortem que influyen sobre el curso de los fenómenos post-mortem, los más importantes son los relativos al contenido de glucógeno muscular. El glucógeno puede llegar a agotarse en situaciones de stress para el animal a consecuencia de un aumento en la glucógenolisis y la lipólisis.

Carne DFD (oscura, firme y seca)

Esto se traduce en una reducción del proceso de glucólisis post-mortem, resultando en un pH final mayor del requerido. Como consecuencia, las proteínas tienden a aumentar su capacidad de enlace, y, por tanto, su capacidad de retener agua, dando carnes de color oscuro, secas y firmes, debido a la disminución del líquido intersticial (Martinez, 2016).

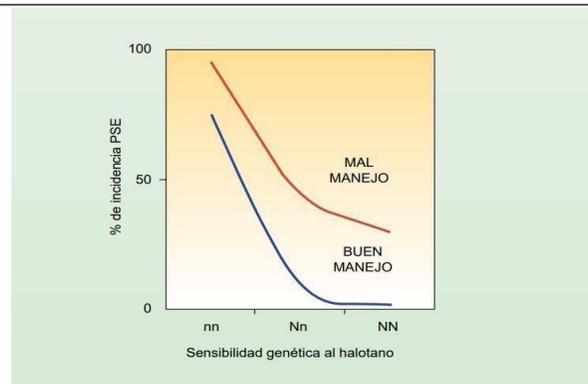


Figura 2. Influencia de la sensibilidad genética al halotano y de manejo sobre la incidencia de presentar carnes PSE

(Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/220036861> La calidad de la carne en porcino. Ruiz, 2004)

Factores que influyen en la calidad de la carne

La calidad de la carne de cerdo es afectada por muchos factores, entre los más importantes se encuentran: ambientales, manejo, nutricionales y genéticos (Camacho et al., 2013).

Factores ambientales y de manejo

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 de los encargados de estas faenas. Evidentemente, las circunstancias antes mencionadas afectan el proceso de transformación que sufre el

músculo al convertirse en carne, deteriorando gravemente su calidad (Reyna *et al.*, 2016).

Factores ambientales

Es muy conocido por todos que el rango de temperatura óptimo y su relación con el rango de humedad relativa óptima es de 18 a 23 °C y 50 a 70% de humedad para cerdos en las fases de levante y engorde. En estos rangos de temperatura y humedad se obtiene de los cerdos su máximo rendimiento productivo y rendimiento en canal; cuando los cerdos están sometidos a temperaturas bajas con humedades relativas bajas se afecta la composición química de la canal y el espesor de grasa dorsal se aumenta como respuesta a esta situación con la finalidad de mantener la temperatura corporal, ahora cuando están sometidos a temperaturas ambientales altas con humedades relativas altas por sus condiciones orgánicas, el cerdo no puede liberar calor y en el caso de no entrar en un shock térmico, responde acumulando grasa en su organismo (Escobar, 2017).

Factores de manejo

Estabulación antes del sacrificio

El descanso de los animales después del transporte y antes de su sacrificio es un punto esencial para prevenir el estrés, permitiéndoles alcanzar un estado basal de agitación, para evitar la aparición de carnes PSE. El plazo de descanso recomendado oscila entre 1 y 3 horas (FAO, 2001), considerándose en general que un periodo de 2-3 horas constituye una solución de compromiso entre el bienestar animal, la calidad de la carne y la gestión del matadero (Zenteno *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Efectos del ambiente en calidad de la carne de cerdo

Humedad relativa	Temperatura(°C)	Composición química		
		Proteína (%)	Grasa (%)	Espesor de la grasa (cm)
90	24	14.6	34.0	3.2
50	23	15.3	27.0	3.0
70	15	16.8	24.7	3.0
70	8	15.1	25.6	3.3
70	3	14.1	36.7	3.5

(Fuente: Escobar,2017)

En cerdos con genotipos sensibles al estrés un reposo previo al sacrificio de 2-3 horas es prácticamente imprescindible, sin que un descanso de 5 horas produzca mejoras ulteriores. Descansos muy prolongados, hasta 16 horas, se ha comprobado que no lleva a mejoras significativas de la calidad de la carne (Araujo *et al.*, 2018).

Sin embargo, en condiciones normales la falta de reposo previo al sacrificio incrementa la proporción de carnes PSE hasta niveles de un 40-63%. Además, los cerdos que no han descansado tras el transporte son más reacios a moverse y precisan de un manejo más enérgico. Por otro lado, también se consiguen incrementos en la proporción de carnes PSE cuando se interrumpe el descanso nocturno de los cerdos para conducirlos al aturdidor; mientras que una estabulación excesivamente larga (superior a 24 horas) conduce a un aumento en la proporción de carnes DFD y más daños cutáneos a causa de luchas, especialmente en lotes grandes (Zenteno *et al.*, 2019).

Factores genéticos

Dentro de los factores genéticos que tienen influencia sobre la calidad de la canal y de la carne de cerdo se encuentran tres genes: gen halotano sensitivo (nn), gen napole (RN) o gen de la carne ácida y gen HIML (incrementa la grasa intramuscular).

Se ha demostrado que el nivel de estrés es mayor en los cerdos portadores del gen halotano, lo cual se confirmó al encontrarse más elevada la concentración de cortisol en estos animales antes del sacrificio. También este mismo grupo de animales presentó una carne PSE (Óvilo *et al.*, 2006).

El gen halotano fue descubierto en 1991 por investigadores de la Universidad de Toronto, quienes encontraron que la mutación responsable del síndrome de estrés porcino, es el gen que codifica al receptor de rianodina o del canal liberador de calcio (CRC1) (Marr *et al.*, 2004).

Gracias a este descubrimiento ha sido posible desarrollar una prueba molecular de diagnóstico rápida, que permite determinar el genotipo de los animales heterocigotos (Nn) portadores de un solo alelo mutado (n) de los animales homocigotos normales portadores del alelo normal (N). El gen (RN), llamado gen de la carne ácida o gen napole, el cual ha sido localizado en el cromosoma 15 por investigadores franceses, es un gen monogénico dominante que se expresa por un fuerte aumento del descenso de pH que conlleva a un pH final bajo. Este bajo pH es el resultado de un potencial glucolítico muy elevado, que conlleva a una glucogenólisis prolongada. Un grupo de investigadores holandeses de la Universidad de Wageningen ha detectado estadísticamente, en 1994, un gen mayor implicado en el porcentaje de grasa intramuscular. El alelo que aumenta esta característica ha sido denominado HIMF (High Intramuscular Fat) y es homocigoto recesivo. Este descubrimiento surge del

análisis de un millar de animales nacidos de la cruce entre las razas Large White x Meishan, los homocigotos portadores presentan un porcentaje de lípidos intramusculares de 3.9% contra 1.8% en los homocigotos no portadores y los heterocigotos. El gen (HIMF) procede sin duda de la raza Meishan y su frecuencia es de + 0.5.4. La influencia de la raza es muy importante.

Cuadro 2. Características de la canal de cerdos Zungo y Duroc y sus cruzas

Características	Z*Z	Z*D	D*Z	D*D
No. De animales	17	14	18	15
Peso al sacrificio (kg)	92.2	89.7	93.5	94.1
Rendimiento %	83.1	83.5	82.5	82.4
Espesor de grasa dorsal(cm)	5.1	4.3	4.4	3.8
Área del ojo del lomo (cm ²)	19.3	22.4	21.8	29.1

(Fuente: Escobar,2017)

Algunos resultados de comportamiento de razas puras demuestran que la raza Duroc presenta valores de pH final de 5.72, proporcionando carne más suave que la de los cerdos Landrace con un pH final de 5.64. Los genes Rendimiento Napole (RN) y Halotano (Hal) tienen un efecto negativo en la calidad de la carne de porcinos ya que están asociados con carne de pH y rendimiento bajos, particularmente el gen Halotano está asociado con la incidencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE) (Reyna *et al.*, 2016).

Animales de razas libres del gen del estrés o gen Halotano como la Large White y la Duroc tienen mejor calidad de la carne que la Pietrain. La raza Landrace está en posición intermedia, más próxima a las razas libres del gen Hal (Alarcón, *et al.*, 2008).

Fisiopatología del síndrome de estrés porcino

Una contracción muscular se inicia cuando la membrana plasmática recibe el estímulo proveniente del nervio conector, éste es canalizado hacia el centro de la fibra muscular por el túbulo transverso, el cual se invagina hacia el interior de la superficie de la membrana plasmática. La membrana del túbulo transmite una señal a la membrana del retículo sarcoplásmico, lo que resulta en una liberación de calcio hacia el sarcoplasma. El calcio interactúa con las proteínas contráctiles para producir la contracción muscular. La concentración requerida de calcio es de 10^{-7} mg/dl, la relajación del músculo se promueve mediante la acción de la bomba de calcio que regresa este elemento hacia la cisterna que lo contiene, lo que hace que en el retículo disminuya la concentración a 10^{-5} mg/dl (Reyna et al., 2016).

Las fibras musculares de los cerdos susceptibles al estrés muestran una hipersensibilidad del canal de calcio, el cual permanece abierto y no permite el descenso en la concentración de calcio. La concentración alta de este ion provoca la rigidez muscular, además de promover una glucólisis aeróbica y anaeróbica provocando el incremento de lactato en el músculo, a su vez promueve la liberación de catecolaminas produciendo más ácido láctico, conduciendo así a una acidosis metabólica (Hidalgo *et al.*, 2017).

Identificación del gen halotano

El conocimiento sobre una proteína membranal llamada receptor a la rianodina, debido a su afinidad con esta sustancia, cumple la función del canal liberador de calcio y a su vez como puente que conecta el retículo sarcoplásmico y el túbulo transversal en la fibra muscular, esto puede ser responsabilidad del gen receptor a la rianodina (Ryr1). Favoreciendo la incidencia del síndrome del estrés porcino (PSS), también conocido como hipertermia maligna (HM) (Marr *et al.*, 2004).

Al comparar la secuencia del ADN complementario del gen *Ryr1* en cerdos normales y susceptibles a la (HM), se encontró que existe una mutación en el nucleótido 1864 del gen, la cual cambia una citosina por una timidina en los individuos susceptibles.

Esta mutación conduce a su vez a un cambio del aminoácido arginina por cisteína en la posición 615 de la proteína. La presencia de esta mutación se ha correlacionado perfectamente con animales susceptibles al gas halotano (Fuji *et al.*, 1991).

Los cerdos heterocigóticos para el gen halotano (Nn) normalmente producen carne de baja calidad al compararse con los cerdos libres de este gen. El gen halotano tiene efectos negativos sobre varias características de la calidad de la carne, entre éstas sobresalen el color y el exudado del músculo, de forma que las canales que proceden de animales halotano positivos o portadores tienen una carne más pálida y exudativa que la que procede de animales halotano negativos. Sin embargo, se creía que el gen tenía un efecto positivo sobre la calidad de la carne (Marr *et al.*, 2004).

Las razas de cerdos más sensitivas al síndrome del estrés porcino (PSS) halotano positivos (nn) son: Pietrain, Belgian Landrace, Poland China y German Landrace; razas medianamente sensitivas (Nn): Dutch Landrace, French Landrace, Swedish Landrace, British Landrace, Danish Landrace, Norwegian Landrace, Australian Landrace, Irish Landrace, Duch Yorkshire y American Hampshire; razas no sensitivas al halotano (NN): Irish Large White, Australian Large White, French Large White, American Yorkshire, British Large White y Duroc (Óvilo *et al.*, 2006).

Factores nutricionales

En una investigación en la que se evaluó el efecto de añadir vitaminas y minerales en la dieta de engorda y el enfriamiento acelerado de las canales de cerdos castrados y primerizas portadores (Nn) y no portadores (NN) del gen halotano se encontró que la suplementación con vitamina E en las dietas de engorda aumentó ($P < 0.05$) la

concentración de la vitamina E en el músculo longissimus. En los cerdos (Nn), este suplemento no afectó el color, la firmeza o las pérdidas por cocción del lomo o el color y la firmeza del jamón. En el genotipo (NN) el aumento del nivel de vitamina E en la dieta disminuyó ($P < 0.05$) el porcentaje de lomo y jamones (PSE). Según este estudio, al adicionar dietas de engorda de animales (NN) con un mínimo de 600 UI/kg de vitamina E además de otras vitaminas y minerales en cerdos (Nn) se puede reducir la incidencia de carnes (PSE) (Kerth *et al.*, 2001).

El ayuno afecta la calidad de la canal y de la carne de cerdo. La adición de sulfato de magnesio en la dieta de cerdos con alto potencial glucolítico reduce dicho potencial en la canal, asimismo, ayuda a mantener el color y la firmeza de la canal (Hamilton *et al.*, 2002).

Sexo

En rendimiento de los tejidos, carne, hueso y grasa están determinados por el sexo de los animales en porcicultura. Es así como la hembra de engorde tiene mayores rendimientos en las proporciones de los tejidos de la canal que el macho castrado, el macho entero a la misma edad de estos tiene mayor rendimiento, el efecto hormonal característico del macho sin castrar aumenta la deposición de proteína en el músculo a expensas de una disminución de grasa; pero por legislación en algunos países como Colombia, estos animales sin castrar no pueden ser sacrificados y su carne destinada para consumo directo (Escobar, 2017).

Edad y peso

Un cerdo de excelente calidad genética bajo condiciones óptimas de manejo, sanidad, alimentación y medio ambiente, a medida que incrementa su edad, eficientemente incrementa su peso y por ende las proporciones de los tejidos, carne, hueso y grasa, regularmente el peso al sacrificio de los animales se efectúa a los 90 a 100 kilogramos

de peso alcanzando el mismo entre los 154 a 165 días de edad. Bajo las condiciones genéticas actuales, este concepto comienza a reevaluarse y es muy posible que cerdos genéticamente buenos a mayor peso (>100 Kg.) y con la misma edad continúen manteniendo eficientemente las proporciones de sus tejidos, dando así excelentes rendimientos en canal; sin embargo, es muy importante tener en cuenta las condiciones en el precio de comercialización, sobre todo en el productor, el valor del producto marginal para poder definir la salida de los cerdos al sacrificio (Escobar, 2017).

Transporte

El bienestar animal durante el transporte y sacrificio de los animales de abasto conlleva a un estrés repentino, que actualmente es motivo de preocupación para los consumidores. El trato que se les da a los animales de granja durante la última etapa de su vida, desde que salen de la granja hasta su muerte por anorexia en los mataderos, presenta una gran preocupación a los consumidores (Earley *et al.*, 2012).

Los sistemas de transporte de los animales deben ser diseñados y utilizados para garantizar que éstos no sufran molestias ni estrés. Es necesario no mezclar animales de diferentes corrales de engorda en los camiones. Antes de cualquier manipulación se deben mantener en un periodo de ayuno de 12 a 14 horas, ya que los cerdos tienden a marearse, vomitarse y consecuentemente se produce un aumento en la mortalidad (Miranda *et al.*, 2010).

El transporte ocasiona, en las mejores condiciones, un marcado estrés en los animales. La intensidad de esta experiencia depende principalmente de la calidad de la conducción, la duración del viaje, los niveles de vibración, el ayuno, las condiciones atmosféricas, el diseño de los vehículos, la densidad de carga y la mezcla social (Lewis, 2008).

Estos factores hacen del transporte una actividad estratégica, la cual debe ser especialmente dirigida a garantizar el bienestar animal. A continuación, se revisarán los aspectos más relevantes del transporte como actividad logística.

Tipos y características de los vehículos para transportar animales

Los camiones de ganado deben ser diseñados especialmente para transportar animales en condiciones micro-ambientales aceptables y salvaguardando su integridad física. De manera general, existen en el mercado cuatro tipos de vehículos especializados:

- Camión pequeño (< 3 ton)
- Camión simple (4 × 13 m)
- Camión con semirremolque (4 × 18 m: un remolque)
- Camión con acoplado (4 × 20 m: dos remolques).

El uso de un camión de tamaño determinado dependerá del tipo de ganado que transportará, de la demanda específica del mercado, la duración de los trayectos habituales y las regiones geográficas donde operará. En el inventario nacional de camiones de ganado de Estados Unidos de América y Canadá, el 30% son camiones simples, 45% son camiones con semirremolque y el restante 25%, camiones con acoplado (Lapworth, 2008).

En Europa, los camiones mayormente usados son los camiones simples y los camiones con semirremolque. Sin embargo, en Australia los camiones suelen ser los acoplados, que, en algunos casos, incluso tienen tres remolques, debido a las grandes distancias que recorren en carreteras predominantemente rectas (Fisher et al., 2009).

a) Pisos, paredes y divisiones

Los pisos deben ser antideslizantes para reducir el riesgo de caídas, pudiendo ser de metal o madera (Lapworth, 2008); en algunos países se utilizan rejillas plásticas para ovinos y porcinos; sin embargo, suelen romperse con mayor facilidad que las metálicas y causar lesiones en las patas (McGreevy *et al.*, 2007).

El recubrimiento de pisos con paja o aserrín es una práctica común, aunque controvertida, debido a que puede favorecer las caídas al hacer el piso menos adherente, dificulta la limpieza del remolque y por su posible implicación en la diseminación de agentes patógenos. Por otra parte, estos pisos pueden favorecer la absorción de las deyecciones y el mantenimiento de la temperatura cálida en climas fríos. Otra característica importante es que el piso tenga poca inclinación, para ayudar al equilibrio de los animales durante el viaje. Las paredes internas del vehículo deben tener orificios de comunicación con el exterior. Los compartimientos internos son esenciales para equilibrar la carga, y es importante que sus terminaciones en bordes romos sean recubiertas con acolchados plásticos para evitar lesiones y hematomas (Lapworth, 2008).

b) Temperatura, humedad y ventilación

El control efectivo del microclima en el interior del remolque puede mejorar el bienestar animal (Kadim *et al.*, 2006). Durante el transporte, muchos animales tienen grandes pérdidas de calor y líquidos debido al jadeo y la sudoración. Estas pérdidas están condicionadas por la temperatura macro y micro ambiental durante el viaje. Las temperaturas macro-ambientales altas causan estados de estrés y deshidratación, sin embargo, hay evidencia de viajes en climas fríos con niveles de deshidratación similares e incluso más pronunciados que en climas cálidos (Villarroel *et al.*, 2011).

En climas fríos, los animales tienden a producir calor para mantener la temperatura corporal dentro de su rango térmico neutral; sin embargo, cuando son transportados en altas densidades se favorece la pérdida de calor; además, la humedad relativa y la temperatura en el remolque aumenta, creando un microclima que favorece la deshidratación. Una posible explicación está relacionada con la entalpía, que es la energía térmica del aire que rodea al animal y determina el grado de pérdida de calor en el remolque (Miranda *et al.*, 2011).

Earley *et al.* (2012) mencionan que estimaciones teóricas indican que en un remolque típico (13 x 6 m), con densidades recomendadas, con pesos aproximados de 500 kg para bovinos, 100 kg para porcinos y 30 kg para ovinos, el calor producido en el interior sería de 13 400, 11 500 y 8 000 watts, respectivamente. Por lo cual un sistema de ventilación es una necesidad operativa vital (Miranda *et al.*, 2010).

Existen dos sistemas de ventilación en el diseño de camiones especializados para ganado, la ventilación pasiva (aberturas) y la activa (ventiladores). La pasiva está dada por la cantidad de aberturas a lo largo del chasis, aunque en algunos modelos hay dispositivos para bloquear estas aberturas. Este sistema es muy variable y depende principalmente del diseño exterior del vehículo y de la velocidad promedio del viento (De la Fuente *et al.*, 2010).

Además, hay poco control sobre el régimen de ventilación, que no sea la abertura y cierre de las ventanas de ventilación, lo que requiere que el vehículo se detenga para que el operador haga las configuraciones pertinentes. Por ejemplo, en invierno, cuando la mayoría de las aberturas están cerradas, la concentración de gases y humedad pueden representar un riesgo para los animales (Gebresenbet *et al.*, 2011).

En climas templados o con inviernos y veranos poco marcados, se suelen utilizar camiones con rejillas o barrotes, o sin techo, lo cual da una amplia ventilación, aunque expone a los animales a la lluvia. El uso de ventiladores puede asegurar una ventilación adecuada para todos los animales durante el viaje. La naturaleza de flujo

interno de viento estará determinada por la ubicación de las entradas, salidas y la presión diferencial entre ellas. Un diseño óptimo contemplará una serie de ventiladores de extracción colocados en las regiones de baja presión del remolque, para mejorar su rendimiento cuando el vehículo está en movimiento, y entradas y salidas de aire en los lugares donde la corriente de aire pase por encima de todos los animales. Estos sistemas suelen ser controlados por un sensor automático y suelen encontrarse en camiones para ganado bovino, porcino y ovino (Tadich *et al.*, 2009).

c) Equipos adicionales

Aunque en la actualidad hay una serie de equipos incluidos de manera estandarizada, aún existen muchos camiones con adaptaciones del diseño original. En Europa, la mayoría de los camiones tienen una suspensión neumática y cuentan con dispositivos de limitación de la velocidad (hasta 90 km/h) (Miranda *et al.*, 2010).

También hay una creciente tendencia al uso de Global Position System (GPS), sobre todo en vías alternativas durante contingencias viales. El problema del GPS es que una gran cantidad de caminos y carreteras rurales no aparecen, o no están actualizadas. Asimismo, es indispensable que tengan al menos un equipo de comunicación, como radio o telefonía móvil, con números de la cadena y de emergencia.

Finalmente, muchos camiones cuentan con rampas hidráulicas de fábrica, las cuales permiten ser usadas como rampas o como elevadores. Estas rampas-elevadores son especialmente útiles en camiones de ovinos y porcinos. También hay camiones con rampas plegables que son menos prácticas, pero mucho más económicas (Villarroel *et al.*, 2011).

d) Densidades de carga

La densidad de carga durante el transporte es uno de los factores que más influyen en el bienestar y confort de los animales durante el viaje. Desde el punto de vista económico, las densidades pueden incrementar o disminuir los costos unitarios de operación (De la Fuente *et al.*, 2010).

Las altas densidades no permiten a los animales viajar cómodamente, debido al escaso espacio que les impide situarse en alguna área cómoda y mantener el balance, lo cual es más grave en viajes largos. Cuando las densidades son bajas, los individuos pueden recostarse y moverse; sin embargo, si las técnicas de conducción y la carretera son malas, es probable que el conductor pierda el balance del vehículo (Gebresendet *et al.*, 2011).

Las densidades altas y bajas repercuten en una alta incidencia de hematomas y otras lesiones, por lo que las densidades promedio suelen ser las que están reflejadas en los reglamentos de cada país. El espacio necesario por animal para ser transportado se puede definir de tres maneras: como los m² de superficie por animal de un peso determinado (m²/100 kg), como kg de peso vivo por m² de piso (kg/m²) y la indicación de la superficie por animal (m²/animal), aunque ésta es poco aceptable por no tener en cuenta la variación de peso del individuo (De la Fuente, 2003), se puede calcular el área mínima que ocupa un animal en función de su peso. Para animales de dimensiones semejantes y un peso determinado (P), las medidas lineales serán proporcionales a la raíz cúbica del peso ($P^{1/3}$). El área de la superficie del animal será igual al cuadrado de la medida lineal ($P^{2/3}$), que es igual a $P^{0.66}$, valor que se utiliza en la ecuación sugerida por Petherick y Phillips (2009): $A = 0.020W^{0.67}$ (donde A = es la disponibilidad de espacio y W = el peso vivo en kg elevado a 0.67, es decir, se utiliza el peso metabólico). Esta fórmula se basa en el concepto de que la cantidad de espacio ocupado por un animal es proporcional a su superficie. Por lo cual un bovino de 400 kg debiera ser transportado a una densidad de 1.16 m²; un cerdo de 100 kg a 0.46 m² y una oveja de 50 kg a 0.26 m². Sin embargo, estos espacios deberían

aumentarse cuando los viajes sean mayores a 5 horas en todas las especies (Gallo *et al.*, 2005).

e) Duración del viaje

La duración del viaje es uno de los tópicos más discutidos en términos de bienestar animal, debido a que se asume que las largas distancias afectan el estatus fisiológico y conductual de los animales, razón por la cual la Comunidad Europea (2005) ha reglamentado la duración del viaje: animales recién destetados, 9 horas de trayecto, seguidas de una hora de descanso para abrevar, seguida de 9 horas de trayecto; cerdos, 24 horas de trayecto siempre que exista la posibilidad permanente de abrevar; caballos, 24 horas de trayecto con la posibilidad de abrevar cada 8 horas; bovinos, ovinos y caprinos, 14 horas de trayecto, seguidas de una hora de descanso para abrevar, seguida de 14 horas de trayecto.

Las secuencias mencionadas pueden repetirse siempre que se descargue a los animales, se les alimente, se les permita abrevar y se les deje descansar durante al menos 24 horas en un puesto de control autorizado. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que el impacto de viajes de larga duración puede atenuarse con una espera de 3 a 8 horas pre-sacrificio (Tateo *et al.*, 2012).

Algunos autores han sugerido que los viajes cortos pueden ser más estresantes que los viajes largos en porcinos (Mota *et al.*, 2006) y equinos (Tateo *et al.*, 2012). Sin embargo, este impacto depende esencialmente de las condiciones del viaje, como la ruta, la calidad de la carretera, el estilo de conducción y la densidad (Lewis, 2008).

En términos operativos, el tiempo de un transporte inicia con la carga en el origen y termina cuando el último animal ha desembarcado en su destino. Este tiempo debe ser optimizado rigurosamente, debido a que el confinamiento en un camión sin movimiento puede ser incluso más estresante que el viaje, sobre todo en viajes de

corta y mediana duración (Krawczel *et al.*, 2007). Por lo cual es importante que en viajes largos el camión tenga dos conductores que permitan reemplazarse y disminuir las paradas innecesarias. Una cadena logística presacrificio debe prever estas situaciones, incluso las esperas para poder descargar en la planta de sacrificio, que deben ser reducidas al mínimo, mediante llegadas programadas, corrales de espera adicionales o de emergencia, y el uso de implementos para hacerla más eficiente.

Por ejemplo, para el arreo social, utilizar animales guía para la descarga en los rumiantes, o el uso de ruidos producidos por sonajeros (envases con piedras en su interior). Para el arreo individual se recomienda el uso de banderas, utilizando el principio de la distancia de fuga (Gebresenbet *et al.*, 2011).

Aturdimiento

El objetivo del aturdimiento es que el animal pierda en forma inmediata la conciencia, para así evitar cualquier sufrimiento innecesario durante el sangrado (Gallo *et al.*, 2003). Así también el aturdimiento facilita la inmovilización correcta del animal para la realización del corte de los vasos sanguíneos, además de reducir el riesgo de accidentes laborales a los operarios (Hernández *et al.*, 2013).

Aturdimiento eléctrico

El aturdimiento eléctrico de cerdos se inició en algunos países de Europa en 1928, desde entonces los aspectos de protección animal y las deficiencias en la calidad de la carne por efecto de este método se encuentran en el primer plano de la discusión (Ring y Kortmann, 1989). Lawrie (1998) menciona que desde la adopción del método de insensibilización eléctrica ha incrementado la incidencia de la salpicadura de sangre en los músculos, debido a que en el animal estresado se produce una dilatación de los vasos sanguíneos del musculo esquelético, aumentando la actividad

fibrinolítica de la sangre retenida. Para que la inconsciencia sea instantánea y sin dolor, el cerebro del animal debe recibir suficiente corriente eléctrica para inducir un ataque epiléptico. El estado inconsciente del cerebro se consigue mediante una descarga eléctrica de alrededor de 300 Voltios y 1.5 Amperes, con el fin de que el corazón no interrumpa su función y se consiga un sangrado completo (Alarcón *et al.*, 2008).

Un buen sistema de aturdimiento debe cumplir varios requisitos: en primer lugar, debe garantizar una inducción rápida al estado de inconsciencia sin producir dolor, prolongándose hasta la muerte del animal; en segundo lugar, debe minimizar los problemas de calidad del producto final y, en tercer lugar, debe garantizar la seguridad del operador (Hernandez *et al.*, 2013).

Conducción al sacrificio

Es difícil para cualquier compañía sacrificar a los cerdos a gran velocidad (800 a 1100 (animales/hora), así como evitar o disminuir el estrés en esta área. Existen diseños donde se enfatiza el uso de personal especializado en el manejo de los animales, así como en el control medioambiental, con la finalidad de proporcionar las condiciones ideales de manejo que incidan en la calidad de la carne (Chorne y Chávez, 1996).

Un mayor estrés antemortem en la conducción hacia el lugar de aturdimiento, aumenta en un 15 a 30% el porcentaje de invasión bacteriana primaria en las muestras de órganos y músculos (Troeger, 1995).

Temperatura corporal

Es importante considerar características propias del cerdo, ya que los animales de esta especie se estresan más fácilmente porque están cubiertos de una capa de grasa

y porque no tienen ninguna glándula sudorípara en la piel que les ayude a liberar el calor corporal (Kilgour y Dalton, 1984; Grandin, 1994).

Offer (1991) menciona que una reducción de 2 °C en la temperatura del cuerpo reduce en un 37% la proporción inicial de desnaturalización de la miosina, produciendo asimismo una reducción en la pérdida por goteo. El mojar los cerdos con agua después del transporte presenta tres ventajas:

- 1) Refresca, reduciendo la tensión en el sistema cardiovascular
- 2) Tranquiliza, reduciendo la conducta agresiva en el reposo
- 3) Limpia, reduciendo la contaminación en la línea de sacrificio.

Los cerdos en reposo deben tener acceso a agua para beber y se les debe proporcionar duchas en la época de calor. Al proporcionar baños antemortem a los cerdos se acelera el enfriamiento de la canal y se mejora el pH, la luminosidad y la pérdida por goteo de la carne, dando como resultado un producto de mayor calidad (Gamboa *et al.*, 2001). Para maximizar el efecto refrescante, el flujo de agua debe ser lo suficientemente grueso para que moje bien a los animales. Flujos finos de agua no se deben usar porque tienden a aumentar la humedad ambiental en vez de refrescar a los cerdos (Schutte *et al.*, 1996).

Restricción de alimento

La restricción de alimento en cerdos al mercado tiene una aplicación práctica aun cuando se descarta la posibilidad del efecto en la calidad de la carne. Se sugiere entre 16 y 24 h de retiro de alimento debido a la mayor facilidad de eviscerado del cerdo, menor manejo del desecho en la planta, y reducción en la incidencia de vísceras rotas a la hora del sacrificio (Eilert, 1997; Berg, 1998). El período de ayuno antes del sacrificio reducirá la cantidad de hidratos de carbono disponibles para la conversión de glucógeno a ácido láctico después de la muerte, lo cual permite obtener una carne menos ácida y, por lo tanto, de mejor calidad (Chorné y Chávez, 1996; De Smet y *et al.*, 1996). Sin embargo, la administración de algunos aditivos en el alimento antes del sacrificio tiene efectos benéficos.

D'Souza *et al.* (1998) encontraron que los cerdos suplementados con aspartato de magnesio presentaban mejores características de calidad con un pH más alto a los 40 min y a las 24 horas postmortem, un menor porcentaje de pérdida por goteo y menores valores de luminosidad (L^*), sin presentar canales PSE. Asimismo, la adición de electrolitos en el agua de bebida de los cerdos durante el reposo antemortem mejora el pH, el color y la conductividad eléctrica de la carne y acelera el enfriamiento de la canal sin mostrar diferencias en la calidad tecnológica (Mendoza *et al.*, 2002).

pH y capacidad de retención de agua

El pH y la capacidad de retención de agua (CRA) son parámetros determinantes de la calidad tecnológica de la carne, ya que condicionan su aptitud para la transformación o su capacidad de conservación. La CRA hace referencia a la facultad de la carne para evitar la salida de agua de su interior. Entre un 65% y un 80% del peso del músculo es agua, y ésta se encuentra en su gran mayoría retenida por capilaridad en los espacios existentes entre los miofilamentos constituyentes de las miofibrillas.

La influencia del pH sobre la calidad de la carne se debe en gran parte a su relación con la estabilidad de las proteínas musculares. El punto isoeléctrico (pH en el que la carga neta de la molécula es nula) de las proteínas cárnicas se encuentra en torno a 5-5,5, cercano al pH de la carne (que típicamente es de 5,5). A ese pH, las fuerzas de repulsión entre las proteínas cárnicas son mínimas, ya que globalmente se encuentran compensadas las cargas positivas y negativas. Como consecuencia, el espacio entre los miofilamentos del músculo está reducido y la CRA es mínima.

Valores de pH por encima o por debajo del punto isoeléctrico de las proteínas suponen la aparición de una carga neta negativa o positiva (respectivamente), con lo que aparecerán fuerzas de repulsión entre las mismas, aumentando la separación entre ellas y así la CRA.

El descenso anormalmente rápido del pH o la disminución insuficiente del mismo tras el sacrificio son las causas de la aparición de las carnes conocidas como PSE (del inglés pale: pálido, soft: blando, exudative: exudativo) y DFD (del inglés dark: oscuro, firm: firme, dry: seco). Este tipo de carnes presentan problemas de aptitud para la conservación y transformación y su aceptabilidad por el consumidor es baja (Ruiz, 2004).

Para asegurar que las caídas del pH no sean abruptas, la única manera es realizar todos los procesos de manejo animal lo más humanitariamente posible y dentro de los protocolos de POS (Procesos de Operación Estándar), (Chavez,2018).

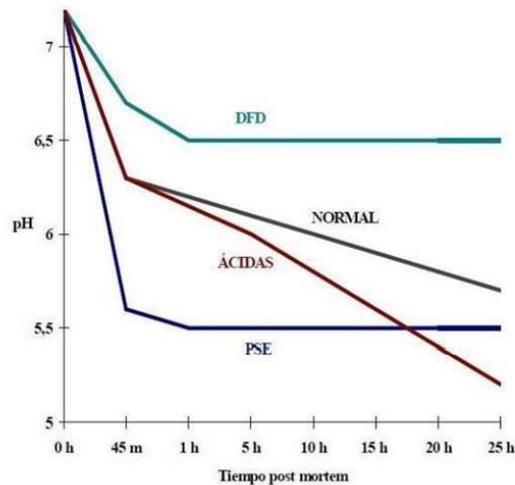


Figura 3. Evolución del pH según la calidad de la carne (Normal, PSE, DFD, y ácida)

(Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/220036861> La calidad de la carne en porcino. Ruiz, 2004).

Sangrado

El desangrado, la remoción del pelo y la evisceración influyen sobre la velocidad de la remoción del calor. El sangrado realizado correctamente minimiza la sangre salpicada

e inicia una disminución en la temperatura del cuerpo. El corte de las venas y arterias para el desangrado del animal debe realizarse antes de los 10 segundos después de haber insensibilizado al animal (Dantzer y Morméde, 1984), si este tiempo es de 4 segundos se disminuye la pérdida por goteo y se obtiene carne con mejor calidad fisicoquímica tanto en el verano como en el invierno (Alarcón et al., 2006). Sosnicki *et al.* (1998) sugiere un mínimo de 5 min para un desangrado adecuado. Acortar la duración del desangrado puede permitir que las canales entren más pronto a la tina de escalde y por lo tanto al enfriado.

Escaldado

El proceso de escaldado posee un efecto de lavado, pero a su vez, tiene lugar una cierta contaminación superficial de las canales por los microorganismos del agua de escaldado. La remoción inmediata de la piel presenta un aumento en la pérdida de calor y se obtienen mayores beneficios en la calidad de la carne (Troeger, 1995).

Enfriamiento de la canal

La temperatura de la canal y de la carne es sin duda uno de los aspectos más críticos del proceso de sacrificio. Las temperaturas de sacrificio, los tanques de escaldado y los enfriadores tienen impacto en la calidad de la carne debido a la desnaturalización de las proteínas. Todas las reacciones bioquímicas tienen un rango de temperatura óptima en el cual son más eficientes, incluyendo las que tienen que ver con la conversión de músculo en carne. Si la temperatura del cuarto frío es constante los tiempos de desangrado y escaldado afectan solo mínimamente la calidad de la carne de cerdo (Gardner *et al.*, 2006). Las ventajas del enfriado rápido radican en una disminución lenta del pH, y por consiguiente se reduce la presencia de carne PSE.

Grandin (1994) indica que exponer las canales a un enfriado con aire a temperatura baja se ha usado como un medio para reducir la temperatura intramuscular con el fin de disminuir la carne PSE. Sin embargo, Eilert (1997) menciona que los procedimientos más rápidos de enfriado no prevendrán PSE, porque en casos severos, el daño ya ha ocurrido antes de que las canales entren en el refrigerador. Los sistemas de enfriamiento juegan un papel crítico en la disminución de la temperatura después del sacrificio. Los sistemas de enfriamiento rápido consisten en cuartos o túneles que combinan temperaturas bajas con velocidades altas de aire para disminuir la temperatura de la canal. Se ha observado que el color de la carne en estos casos de enfriamiento es más oscuro y la pérdida de líquido es menor. Es importante monitorear el grado de disminución de la temperatura, ya que una disminución rápida puede causar encogimiento por frío y endurecimiento de la carne.

Duración del proceso de sacrificio

El tiempo que transcurre entre el comienzo y el término del sacrificio puede influir en la calidad de la carne, ya que afecta el grado de disminución de la temperatura. Un tiempo ideal entre el aturdimiento y la iniciación del enfriado es de 20 a 40 minutos (Eliert, 1997).

Según la norma NOM 009 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (1994), la evisceración de los animales se debe realizar en un lapso menor a 30 minutos, a partir del momento en que ha sido sacrificado el animal. Si por causas de fuerza mayor se extendiera dicho lapso, todas las canales deberán ser sometidas a toma de muestras para su examen bacteriológico.

Proceso de conversión del músculo a carne

La conversión de músculo a carne se inicia con la muerte del animal. Después del proceso de desangre del animal, las células entran en un estado donde no reciben más nutrientes para su funcionamiento normal, por lo que ellas comienzan a realizar procesos de supervivencia. En la conversión de músculo a carne se dan en tres fases: la etapa de pre-rigor o apoptosis, el rigor mortis y la tenderización.

Estas etapas están muy relacionadas con el desarrollo de los diferentes atributos de la calidad de carne, (Montoya, 2014).

a) Muerte celular o Apoptosis

Corresponde a la primera fase de conversión cárnica a partir del músculo. Este es un proceso organizado y regulado fisiológicamente por un tipo particular de proteínas (Caspasas) que sucede comúnmente en los seres vivos, incluyendo desde los animales monomoleculares hasta los pluricelulares como los mamíferos (Yuan, 1996).

Se cree que este tipo de muerte celular está muy estrechamente relacionada con la evolución de la terneza y el pH en la carne (Kemp y Parr, 2012).

Las caspasas son las principales en la destrucción de la estructura muscular, por la degradación de las proteínas de las miofibrillas de componentes cuando el músculo entra en estado post-mortem después del beneficio del animal. Pero se ha encontrado que este proceso es apoyado, más adelante, por otros sistemas (como el de las catepsinas y calpaínas), para facilitar una adecuada degradación proteínica (Montoya, 2014).

b) Rigor Mortis

Es la segunda fase de la conversión de músculo a carne, el cual se define como una contracción lenta e irreversible.

Cuando el animal es beneficiado y desangrado se genera una interrupción no solo en la circulación sanguínea, sino también el aporte de oxígeno al músculo, iniciando así la síntesis anaeróbica de energía, llamada glucólisis. Este proceso se caracteriza por la producción y consumo de ATP (Adenosintrifosfato), para compensar la escasez de energética. A medida que se gasta las reservas glucogénicas se da una acumulación de ácido láctico (producto final del metabolismo anaeróbico), el pH post-mortem disminuye y esta caída inactiva las enzimas glucolíticas, hasta llegar a un complejo rígido llamado Actiomiosina, que en última instancia es lo que se denomina músculo en rigor, este estado se alcanza entre las 10 y 24 horas posteriores a la muerte. Es de gran importancia conocer el funcionamiento del rigor mortis, así como su efecto en la calidad de carne, es importante pues está estrechamente relacionado con parámetros como la suavidad, el pH y el color. El mal establecimiento o el tiempo inadecuado de este, afecta la terneza de la carne (Montoya, 2014).

c) Maduración

La maduración es un conjunto de modificaciones fisiológicas y bioquímicas del músculo, ocasionadas por procesos enzimáticos endógenos, que consisten en la degradación de las proteínas que conforman las miofibrillas componentes primordiales de la estructura muscular. La maduración surge en condiciones de almacenamiento al vacío y a temperaturas de refrigeración de menos 4°C, que hace no solo que el músculo se vuelva ligeramente más suave, sino que se mejore también el sabor y el aroma. Durante los primeros 10 días de almacenamiento, la velocidad de reducción de la dureza es rápida. Se ha comprobado que en ese lapso se da un 80% de esa disminución (Montoya, 2014).

Otro proceso que ocurre es la oxidación de la mioglobina, pasando al color rojo brillante característico de la sangre. Esta proteína globular es la responsable de muchos de los cambios que ocurren en la carne al ser modificada por distintos procesos, por ejemplo: al cocinarla, la mioglobina pasa a ferrihemocromo (Fe^{3+}), que proporciona el color marrón característico a las carnes cocinadas; o también, al conservar en salazón con adición de nitritos y nitratos, la mioglobina pasa a nitrosomioglobina, que da el color rojo vivo a este tipo de carnes, (Boovis, 2016).

Esta es la fase clave para la transformación del músculo en carne y, si se dificulta, por ejemplo congelando antes de tiempo, se obtienen carnes insípidas de bajo valor para el consumidor, (Boovis, 2016).

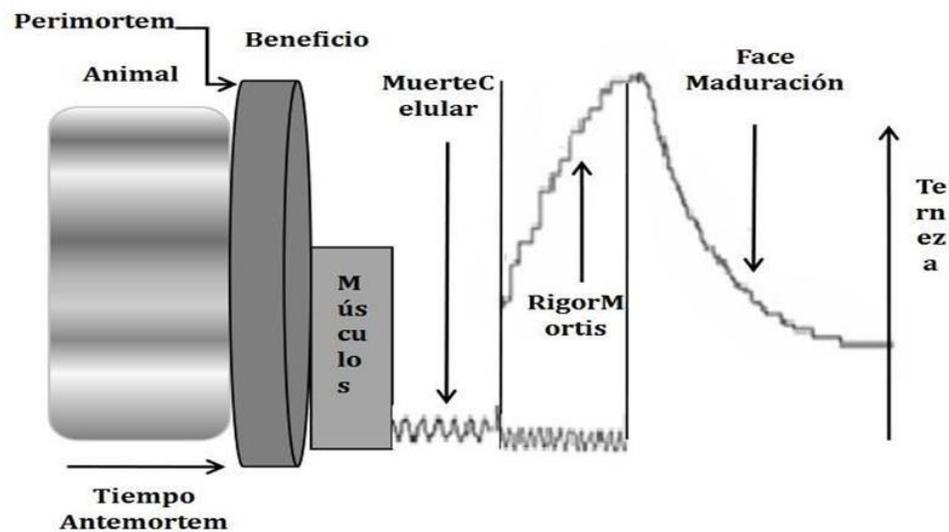


Figura 4. Proceso de conversión de músculo a carne

(Fuente: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/como-se-produce-la-conversion-de-musculo-carne>, Montoya, 2014).

CONCLUSIÒN

La carne de cerdo es un producto de gran demanda a nivel mundial, sin embargo, su calidad es afectada por factores ante-mortem, de manejo, del sacrificio, y postmortem siendo todos ellos de gran importancia para la consistencia de la calidad; por lo que solamente teniendo un buen control de todos ellos se puede asegurar la calidad del producto final en beneficio de un consumidor que cada día es más exigente en la demanda de un producto que llene sus expectativas.

LITERATURA CITADA

Alarcón, A. D., J. G. Gamboa y H. Janacua. 2008. Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo. *Nacameh* 2(1): 63-77.

Araújo, J. P., J. L. Cerqueira, P. Pires, I. Amorim, M. Carneiro, J. Santos y J. M. Lorenzo. 2018. Influencia del sistema de producción en la calidad de la canal de cerdos de raza Bísara. *Archivos de zootecnia*, 554-559.

Bautista, J. H., J. L. López, y F. G. Rincón. 2013. Efecto del manejo pre mortem en la calidad de la carne. *Nacameh* 7(2): 41-64.

Camacho Rea, M. C., M. E. Arechavaleta Velasco, y F. J. Braña Varela. 2013. Factores genéticos que influyen en la calidad de la carne de cerdo.

Chorné, R., Y C. Chávez. 1996. La estructura de la cadena porcícola y la calidad de sus productos. *Temas de actualidad para la industria porcina*. Ed. Midia Relaciones S. A. De C. V. México, D. F. pp. 38-49.

COMUNIDAD EUROPEA. Reglamento (CE) nº 1/2005 del Consejo. de 22 de diciembre de 2004, relativo a la protección de los animales durante el transporte y las operaciones conexas y por el que se modifican las Directivas 64/432/CEE y 93/119/CE y el Reglamento (CE) nº 1255/97.

De La Fuente, J., M. Sánchez, C. Pérez, S. Lauzurica, C. Vieira, y E. González De Chavarri. 2010. Physiological response and carcass and meat quality of suckling lambs in relation to transport time and stocking density during transport by road. *Animal*, 250-258.

Earley, B., M. Murray Prendiville, B. Pintado, C. Borque, E. Canali. 2012. The effect of transport by road and sea on physiology, immunity and behaviour of beef cattle. *Res Vet Sci*, 531-541.

Eilert, S. J. 1997. What quality controls are working in the plant? En: *Proc. Pork Quality Summit*. National Pork Producers Council. July 8-9 Des Moines, IA. p 59-63.

Escobar-Jaramillo, M.A. 2017. Factores que afectan el rendimiento en carne de los cerdos. Disponible en: <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/factoresafectan-rendimientocarne-t41359.htm>.

FAO. (2001). Directrices para el Manejo, Transporte y Sacrificio Humanitario del Ganado. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/005/x6909s/x6909s00.htm>.

FAO. (2020). Calidad de la carne. Producción y sanidad animal. Departamento de Agricultura y protección del consumidor. Consultado 25/09/2020 Disponible en:

<http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/qualitymeat>.

Fujii, J., K. Otsu, F. Zorzato, S. De Leon, V.K. Khanna, J.E. Weiler, P.J. O'Brien, D.H. MacLennan. 1991. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 448-451.

Gallo, C., G. Lizondo, T. Knowles. 2003. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Vet Rec*, 361–364.

Gallo, C. P., T. Knowles, R. Negron, A. Valdes, y I. Mencarini. 2005. Densidades de carga utilizadas para el transporte de bovinos destinados a matadero en Chile. *Arch Med Vet*, 155159.

Gamboa alvarado, J. G., A. D. Alarcón Rojo, A. Grado Ahuir, y F. A. Rodríguez Almeida. 2001. Efecto del peso al sacrificio y voltaje de insensibilización sobre la calidad fisicoquímica de la carne de cerdo. XXIX Reunión de la Asociación Mexicana de Producción Animal. Univ. Aut. de Tamaulipas. Cd. Victoria. Méx. 505-508.

Gebresenbet, G., T.G, Bosona, D. Ljungberg, S. Aradom. 2011. Optimization analysis of large and small-scale abattoirs in relation to animal transport and meat distribution. *Aust J Agr Eng*. 31-39.

Grandin, T. 1994. Methods to reduce PSE and bloodsplash. Proc. Allen D. Leman Swine Confr. University of MN, 206-209.

Gregory, N. G. 1987. Effect of stunning on carcass and meat quality. En: *Evaluation and Control of Meat Quality in Pigs*. Edit. P. V. Tarrant, G. Eikelenboom, y G. Monin.

Martinus Nijhoff Publ. Boston, 265-272.

Hamilton, D.N., M. Ellis, M.D. Hemann, F.K. McKeith, K.D. Miller, K.W. Purser. 2002. The impact of longissimus glycolytic potential and short-term feeding of magnesium sulfate

heptahydrate prior to slaughter on carcass characteristics and pork quality. *J. Anim. Sci.*, 1586–1592.

Hidalgo Correa, N., Y. T. Guzmán Yopez, N. Uribe Corrales, M. Acosta Lobo, J. F. Naranjo Ramírez, y S. Henao Villegas. 2017. Identificación y asociación de factores de estrés sobre la calidad de la carne en porcinos.

Kerth, C.R., M.A. Carr, C.B. Ramsey, J.C. Brooks, R.C. Johnson, J.E. Cannon, M.F. Miller. 2001. Vitamin mineral supplementation and accelerated chilling effects on quality of pork from pigs that are monomutant or noncarriers of the halothane gene. *J. Anim. Sci.* 2346- 2355.

Kilgour, R. Y C. Dalton. 1984. *Livestock Behaviour: a practical guide.* Granada Publishing Ltd. New York, NY. p 73.

Krawczel, P.D., T. Friend, D.J. Caldwell, G. Archer, y K. Ameiss. 2007. Effects of continuous versus intermittent transport on plasma constituents and antibody response of lambs. *J Anim Sci.* 468-476.

Lapworth, J.W. 2008. Engineering and design of vehicles for long distance road transport of livestock: the example of cattle transport of Northern Australia. *Vet Ital*, 215-222.

Larsen, H. K. 1982. Comparison of 300 volt stunning, 700 volt automatic stunning and CO₂ compact stunning, with respect to quality parameters, blood splashing, fractures and meat quality. En: *Stunning of animals for slaughter.* Edit. G. Eikelenboom. Martinus Nijhoff Publ. Boston, MA.

Lawrie, R.A. 1998. The conversion of muscle to meat. *Lawrie's Meat Science.* Cambridge Woodhead. Publishing Ltd. 96-118.

Lewis, N.J, 2008. Transport of early weaned piglets. *Appl Anim Behav Sci.* 110: 128135.

Loayza, M.L. 2017. Incidencia de carnes PSE (pálida, suave y exudativa) y DFD (oscura, firme y seca) en carcasas porcinas beneficiadas en el centro de faenamiento FRILISAC. Tesis profesional, Universidad Ricardo Palma. Lima, Peru. 59.

Marr, A.L., C.P. Allison, N.L. Berry, D.B. Anderson, D.J. Ivers, L.F. Richardson, K. Keffaber, R.C. Johnson, y M.E. Doumit. 2004. Impact of halothane sensitivity on mobility status and

blood metabolites of HAL-1843- normal pigs following an aggressive handling model. *J. Anim. Sci.* 82(Suppl.2).33.

Martinez, J.C, 2016. Carnes tipo PSE y DFD (Causas y consecuencias). Disponible en: <https://todocarne.es/carnes-tipo-pse-y-dfd-causas-y-consecuencias>.

Mcgreevy, P.D., S. George, y P.C Thomson. 2007. A note on the effect of changes in flooring on the behaviour of housed rams. *Appl Anim Behav Sci*, 355- 360.

Mendoza-Moreno, S.R., A.D. Alarcón Rojo, A. Grado ahuir, y F.A. Rodríguez Almeida. 2002. Effect of addition of electrolytes in preslaughter drinking water of pigs on weight losses and physicochemical characteristics of meat. Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products. Conference Proceedings. British Society of Animal Science. 12-15 Nov. UADY, Mérida, Méx. bsas.org.uk/downloads/mexico/095.pdf.

Miranda De La Lama, G.C., L. Rivero, G. Chacon, S. Garcia-Belenguer, M. Villarroel. 2010. Effect of the pre-slaughter logistic chain on some indicators of welfare in lambs. *Livest Sci*, 128: 52-59.

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

Montoya Rodríguez, C. 2014. Caracterización de algunas variables de calidad de carne en bovinos manejados bajo diferentes condiciones de producción en el trópico colombiano. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal Medellín, Colombia.

Mota-Rojas, D. M., C. Lemus, P. Sanchez, M. Gonzalez, S.A. Olmos Ramirez. 2006. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post- slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci*, 404-412.

Óvilo, C. A., M. Rodriguez, M. Nieto, y L. Silió. 2006. Association of MC4R gene variants with growth fatness, carcass composition and meat and fat quality traits in heavy pigs. *Meat Science*, 155-157.

Porcimex (Confederación de Porcicultores Mexicanos), 2017. Estadísticas.

Disponible en <http://www.porcimex.org/estadisticas/analiticos/mcarne.htm>.

Rebollar, S. M., N. C. Juárez, y H. H. Villalva, 2019. Eficiencia en el mercado de carne de cerdo en México. *CIENCIA ergo-sum*, 26(3), 9.

Reyna Santamaría, L., J. L. Figueroa Velasco, y R. D. Martínez Rojero. 2016. Calidad de la carne de cerdo en canal, impacto de los genes halotano y napole. *Ciencia UANL*, 19(80), 74-80.

Ring, C., y R. Kortmann. 1989. Efecto de la insensibilización eléctrica en cerdos sobre la calidad de la carne. *Fleischwirtsch, Español*, 21-24.

Ruiz, j., D. Martin, S. Ventanas. 2004. La calidad de la carne en porcino. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/220036861_La_calidad_de_la_carne_en_porcino.

Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. Norma Oficial Mexicana NOM009ZOO-1994. Proceso Sanitario de la Carne. Diario Oficial.

SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados) (2016).

Secretaría de Economía. Disponible en: <http://www.economiasniim.gob.mx/nuevo/mapa.asp>.

Sosnicki, A., E. Wilson, E. B. Sheiss, y A. G. de Vries. 1998. Is there a cost-effective way to produce high quality pork? Pages 19–27 in 51st Reciprocal Meat Conf. Am. Meat Sci. Assoc., Savoy, IL.

Tadich, N., C.M. Gallo, y D.M. Brito-Broom. 2009. Effects of weaning and 48 h transport by road and ferry on some blood indicators of welfare in lambs. *Livest Sci*; 121, 132-136.

Tateo, A. B., M. Padalino, A. Boccaccio, y P. Centoducati. 2012. Transport stress in horses: Effects of two different distances. *J Vet Behav Clin Appl Res*, 33-42.

USDA (United States Department of Agriculture). 2016. Disponible en <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>.

Valencia Figueroa. A., 2020. Valoración de la calidad de la canal a partir del cruce de diferentes líneas genéticas en una granja porcícola del Nordeste Antioqueño (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).

Zenteno, E. S., L. R. Cueva, y G. E. Crespo. 2019. Calidad de la canal de cerdos en la industria porcina de Ecuador (Artículo de Revisión). *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 118-131.