



## Influencia del pH y la temperatura en los músculos de res y cerdo durante el proceso de faenado: Una revisión sistemática

Influence of pH and temperature on beef and pork muscle during the dressing process: A systematic review

Enrique Salazar Llorente<sup>1\*</sup>; Lidia Paredes Lozano<sup>1</sup>; Lidia Nivelá Vera<sup>1</sup>; Luis Caicedo Hinojosa<sup>1</sup>

*1 Technical University of Babahoyo, Babahoyo, Av. Universitaria km 21/2 Av. Montalvo Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.*

\* Autor correspondiente: E. Salazar Llorente [ [ejsalazar@utb.edu.ec](mailto:ejsalazar@utb.edu.ec) | <https://orcid.org/0000-0002-1699-042X> ]

L. Paredes Lozano [ [lparedes@utb.edu.ec](mailto:lparedes@utb.edu.ec) | <https://orcid.org/0000-0003-1208-0282> ]

L. Nivelá Vera [ [lnivela@utb.edu.ec](mailto:lnivela@utb.edu.ec) | <https://orcid.org/0000-0002-1788-6405> ]

L. Caicedo Hinojosa [ [lcaicedo@utb.edu.ec](mailto:lcaicedo@utb.edu.ec) | <https://orcid.org/0000-0003-1904-7303> ]

### Resumen

El consumo mundial de carne muestra una fuerte preferencia por el cerdo (36%) y la res (23%). La calidad de la carne depende de factores genéticos, como la raza, que influyen en la ternura, jugosidad y sabor. El manejo adecuado, desde la producción hasta la refrigeración, es clave para evitar problemas como la carne PSE. En la carne de res, un pH alto (< 5,8) endurece la carne, mientras que un pH de 5,5 mejora su ternura. En la carne de cerdo, un pH bajo (< 5,5) genera carne PSE, pero un rango de 5,5 – 5,6 mejora la calidad. El control de la temperatura (0 – 4 °C) durante la maduración preserva el sabor y evita la desnaturalización proteica. Estos parámetros son esenciales para garantizar la frescura, textura y sabor óptimos, asegurando carne de calidad para los consumidores.

**Palabras clave:** calidad de carne; pH; temperatura; PSE; maduración; procesos de faenado.

### Abstract

World meat consumption shows a strong preference for pork (36%) and beef (23%). Meat quality depends on genetic factors, such as breed, which influence tenderness, juiciness, and flavor. Proper handling, from production to refrigeration, is key to avoiding problems like PSE. In beef, high pH (< 5.8) toughens the meat, while a pH of 5.5 improves tenderness. In pork, low pH (< 5.5) causes PSE meat, but a pH of 5.5 - 5.6 improves quality. Temperature control (0 – 4 °C) during maturation preserves flavor and prevents protein denaturation. These parameters are essential to ensure optimal freshness, texture, and flavor, guaranteeing quality meat for consumers.

**Keywords:** meat quality; pH; temperature; PSE; maturation; dressing processes.



## 1. Introducción

En Ecuador, la producción anual de carne alcanza las 181.488 toneladas. El consumo promedio per cápita de carne en el país es de 54 kilogramos al año, distribuidos entre diferentes variedades. La mayor proporción, con 32 kilogramos, corresponde al consumo de carne de pollo. Le sigue la de cerdo, con 12 kilogramos por persona al año. El consumo restante de 10 kilogramos se reparte entre carne de vacuno y pescado. Estas cifras reflejan los hábitos y patrones de consumo de proteína animal en la población ecuatoriana (Astiti et al., 2023).

Es el proceso mediante el cual se sacrifica un animal de granja (ganado, cerdos, ovejas, etc.) con el propósito de obtener su carne para el consumo humano (Ayala Vargas, 2018). El rigor mortis o rigor mortem es el proceso que ocurre después del sacrificio de un animal, en el cual se produce un endurecimiento muscular temporal debido a cambios bioquímicos en las fibras musculares (Barragán-Hernández et al., 2021). En este contexto el pH representa una medida que indica el grado de acidez o alcalinidad, determinado por la concentración de iones de hidrógeno presentes en una solución específica. Esta escala numérica abarca un rango de 0 a 14. El pH de la carne en todo este proceso es muy importante, pues de él depende el color, la jugosidad, la textura e incluso el olor que tendrá, y por tanto influirá en la venta del producto final (Cabrera et al., 2023). En la carne de cerdo un pH inferior a 5,4 puede dar lugar a una carne PSE (pálida, blanda y exudativa), mientras que un pH superior a 5,6 puede dar lugar a una carne DFD (oscura, dura y seca) (Carrillo, 2023).

El pH juega un papel fundamental en la calidad de la carne durante el proceso de faenado. Un pH más alto (más alcalino) puede provocar una textura pastosa y un color oscuro poco atractivo. Por otro lado, un pH más bajo (más ácido) puede dar como resultado una carne más tierna, pero con un sabor metálico desagradable (Cellan & Suconota, 2019).

En el sacrificio, la falta de oxígeno da lugar a la glucólisis anaeróbica, donde se produce ácido láctico como resultado de la transformación del glucógeno. La acumulación de ácido láctico dará lugar a una disminución significativa del pH muscular. Un pH bajo facilita la formación de enlaces entre diferentes tipos de proteínas musculares, como la actina y la miosina, provocando así rigidez en los músculos (rigidez cadavérica). Un valor de pH adecuado es necesario para la actividad enzimática proteolítica de enzimas como las calpaínas y las catepsinas, que son las encargadas de degradar las proteínas musculares y mejorar la ternura durante la maduración. Cuando el

pH no es el correcto, puede favorecer la aparición de defectos en la calidad de la carne, como la carne PSE (Pale, Soft, Exudative) cuando el pH baja muy excesivamente en postmortem, o DFD (Dark, Firm, Dry) cuando el pH se mantiene elevado debido a la ausencia de glucógeno y a la falta de producción de ácido láctico (Calderón & Yumisaca, 2017).

Durante el almacenamiento, es fundamental mantener temperaturas entre 0 y 4 °C para evitar el crecimiento de microorganismos patógenos. Sin embargo, la exposición a temperaturas inferiores a 10 °C antes de que se complete el rigor mortis puede provocar un acortamiento por enfriamiento, lo que da como resultado cortes de carne más duros y fibrosos debido a la contracción excesiva e irreversible de las fibras musculares (Ding et al., 2022).

El acortamiento por frío se produce cuando la carne se enfría rápidamente por debajo de los 10 °C sin que haya tenido tiempo de producirse el rigor mortis. En este caso la contracción muscular es más fuerte que la del rigor mortis normal, lo que provoca un acortamiento importante e irreversible de los sarcómeros (las estructuras musculares que se alargan y acortan en los ciclos de contracción-relajación), siendo estas unidades contráctiles del músculo las que hacen que la carne se vuelva más dura. Hay que decir que el mantenimiento de este problema de dureza no se puede solucionar, aunque el tiempo de maduración de la carne sea mayor (Dimakopoulou et al., 2022).

La temperatura interviene directamente en la calidad de la carne al momento del sacrificio del animal, ya que las altas temperaturas incrementan el desarrollo bacteriano y la descomposición de la carne, pero las bajas temperaturas son perjudiciales para la ternura y jugosidad de la carne (Faucitano & Nannoni, 2023).

La glucólisis anaeróbica produce dos moléculas de ATP por molécula de glucosa, además de la formación de ácido láctico, mientras que la glucólisis aeróbica produce 36 moléculas de ATP por molécula de glucosa dependiendo de la eficiencia de la cadena de transporte de electrones y la disponibilidad de oxígeno. Estos procesos son fundamentales para el aporte energético de las células, jugando un papel muy importante en la calidad y conservación de la carne post mortem, influyendo en aspectos relacionados con el sabor, textura y jugosidad en el procesamiento y almacenamiento post mortem (Farvid et al., 2015).

El glucógeno actúa como reserva de energía en los músculos antes del sacrificio. Durante el proceso de sacrificio, el glucógeno se convierte en ácido láctico como resultado del metabolismo anaeróbico. Si hay niveles suficientes de glucógeno en los músculos antes del sacrificio, se produce una cantidad adecuada de ácido láctico, lo que contribuye a mantener el pH de la

carne dentro de niveles óptimos después del sacrificio. Un pH adecuado es crucial para la retención de agua, la textura, el color y el sabor de la carne (Gómez et al., 2022).

El glucógeno es similar al almidón de las plantas. Se forma por la unión de moléculas de glucosa y es una reserva energética, por lo que se almacena en el hígado y los músculos (Dimakopoulou et al., 2022).

El rigor mortis o rigor mortem es el proceso que ocurre después del sacrificio de un animal, en el que se produce un endurecimiento muscular temporal debido a cambios bioquímicos en las fibras musculares (Barragán-Hernández et al., 2021).

La rigidez cadavérica comienza a aparecer pasadas varias horas tras el sacrificio de los animales, alcanzando su máximo entre 12 y 24 horas después. Este fenómeno se debe principalmente a la falta de aporte de oxígeno a los músculos que acumulan ácido láctico por el insuficiente aporte de oxígeno tras la muerte, lo que facilita la coagulación de las proteínas musculares y, en consecuencia, la rigidez (García et al., 2021).

El manejo del fenómeno del rigor mortis es fundamental para la calidad de la carne, ya que cortar la carne durante el periodo de máxima rigidez puede provocar que la carne quede más dura y menos jugosa. Por este motivo, muchos procesos de maduración de la carne incluyen el periodo de máximo rigor mortis, esperando a que la carne se relaje para luego comercializarla y aumentar la terniza de la carne (Guevara et al., 2023).

Desde el momento en que cesa el aporte de oxígeno, el músculo pasa de un metabolismo aeróbico a uno anaeróbico, con acumulación de ácido láctico, provocando, como consecuencia de la disminución del pH, la formación de ácido láctico. Por otra parte, la falta de ATP impide la relajación de las fibras musculares, dando lugar a una rigidez transitoria conocida como rigidez cadavérica (Hernández & Jessuly, 2020).

Tras la interrupción del aporte de oxígeno y el cese de la producción aeróbica de ATP, la glucosa almacenada como glucógeno en los músculos se fracciona en glucosa-6-fosfato mediante la actividad del enzima glucógeno fosforilasa. La glucosa-6-fosfato se transforma y se convierte en piruvato mediante un conjunto de pasos enzimáticos durante el proceso de glucólisis. Durante este proceso se forman pequeñas cantidades de ATP y NADH, que son los dos mediadores energéticos de dicho proceso (Hernández et al., 2013).

Cuando la glucólisis ocurre en ausencia de oxígeno, el piruvato es convertido en lactato por una enzima llamada lactato deshidrogenasa (LDH). Esta conversión es muy importante porque sirve para recuperar NAD+

del NADH para que la glucólisis pueda seguir generando ATP. El lactato producido durante la glucólisis anaeróbica se acumula en los músculos debido a la imposibilidad de obtener energía en su totalidad, ya que no hay oxígeno. Esta acumulación de lactato provoca la acidificación de los músculos, lo que contribuirá a la rigidez cadavérica, indicador de rigor mortis. Este exceso de lactato y la caída del pH muscular pueden alterar las características de textura y terniza de la carne cruda. Un manejo post mortem adecuado, incluyendo exposición y maduración controladas, permitirá destruir parte del lactato, lo que mejorará la calidad de la carne al reducir la rigidez muscular (Irreño et al., 2022).

El cambio de pH y temperatura provoca la desnaturalización de las proteínas musculares, lo que se traduciría en un cambio en la textura y terniza de la carne. Durante la maduración de la carne existen enzimas proteolíticas, como las catepsinas y calpaínas, que degradan las proteínas musculares, mejorando la terniza de la carne. Finalmente, a las 6 - 8 horas el pH se estabiliza en el rango 5,6 - 5,8 marcando así el final de las principales reacciones metabólicas post-mortem y el inicio del proceso de maduración (Hernández & Jessuly, 2020).

Estas enzimas se activan en la autopsia como consecuencia de los cambios en el pH muscular y la liberación del calcio almacenado en el retículo sarcoplásmico de las células musculares, lo que activa su función catalítica en la ruptura de enlaces peptídicos específicos de las troponinas y la tropomiosina, generando mayor elasticidad en las fibras musculares y contribuyendo al ablandamiento y mejor textura de la carne a la que son sometidas. Esta función desarrollada por las calpaínas es un factor determinante en la mejora de la calidad sensorial de la carne (Ding et al., 2022).

En el caso de los bovinos, se utiliza un voltaje de entre 200 y 400 V como máximo y una corriente de entre 1,5 y 2,5 A, para lo cual es necesario utilizar electrodos colocados en la cabeza del animal. Esta técnica no debe practicarse si no se tiene la suficiente habilidad como para hacerla inviable (por ejemplo, electricidad estática). En lo que respecta a los cerdos, el voltaje aplicado es menor, entre 70 - 90 V, con una corriente de 1,3 - 1,5 A, se aplican electrodos al animal, principalmente en la cabeza, pero en ocasiones en el corazón. Es fundamental evitar la sobredosificación para evitar daños al animal (Carrillo, 2023).

Esta técnica de aturdimiento eléctrico mejora los procesos de sacrificio animal al inducir rápidamente la inconsciencia tanto en animales bovinos como porcinos, reduciendo el estrés animal previo al sacrificio y mejorando así el bienestar animal, lo que mejorará la calidad de la carne al minimizar la

liberación de hormonas relacionadas con el estrés, favoreciendo así un desangrado más rápido, completo y eficiente que proporcionará una mejor textura y sabor a la carne (Jerez et al., 2020).

## 2. Metodología

### Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda en Google Académico sobre la influencia del pH y la temperatura en el músculo de carne de res y de cerdo durante el proceso de faenado. La búsqueda se realizó en inglés, portugués y español. Posteriormente, se realizó una revisión sistemática en inglés en SpringerLink con la ecuación: “pH and temperature effects on beef and pork muscle during slaughter”. Además, se consultaron las bases de datos Scielo, Scopus, Latindex y Web of Science. Se utilizó Zotero como gestor de referencias para organizar artículos científicos, tesis, revistas, libros y documentos web seleccionados.

### Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de selección incluyeron artículos científicos originales publicados en revistas indexadas en inglés, portugués y español durante un período de quince años. Se centraron en investigaciones sobre cómo el pH y la temperatura afectan el músculo de la carne de res y de cerdo durante el proceso de faenado.

## Análisis de datos

Se realizó un análisis exhaustivo para evaluar el impacto del pH y la temperatura en la calidad del músculo de res y cerdo durante el proceso de faenado. Las variables clave incluyeron el pH inicial y final, la temperatura del músculo en diferentes etapas del proceso y la relación de estos factores con la textura, el color y la capacidad de retención de agua de la carne. Se utilizó una matriz con datos de autor, año y fuente bibliográfica para facilitar la comparación y determinar cómo diferentes condiciones de pH y temperatura afectan la calidad de la carne, apoyándose en estudios y revisiones bibliográficas para contextualizar los resultados en el marco del conocimiento existente.

## 3. Resultados y discusión

De acuerdo con Avila et al. (2021) (Figura 1) los tiempos de transporte a los que fueron sometidos los animales antes del sacrificio no fueron estadísticamente significativos ( $p$ -valor = 0,71) y no provocaron alteraciones en el pH de la canal de los animales; sin embargo, la temperatura presentó una significancia de  $p$ -valor = 0,0011 (Figura 2), concluyendo que, a mayor tiempo de viaje, la temperatura del ganado sacrificado tiende a incrementarse. En particular, el ganado que viajó más de 3 h (viaje corto a medio) presentó cambios en la temperatura de la canal.

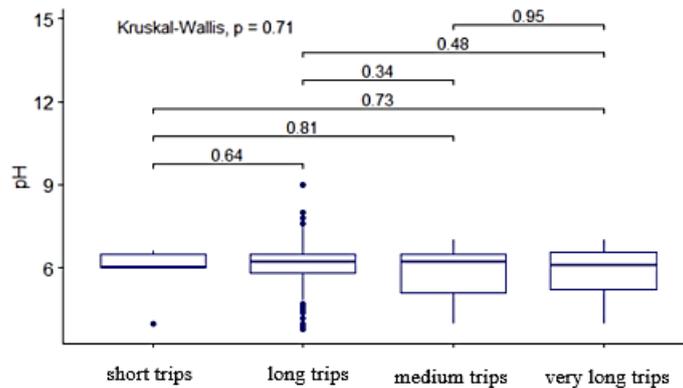


Figura 1. Influencia del pH en los diferentes tiempos de transporte al feedlot.

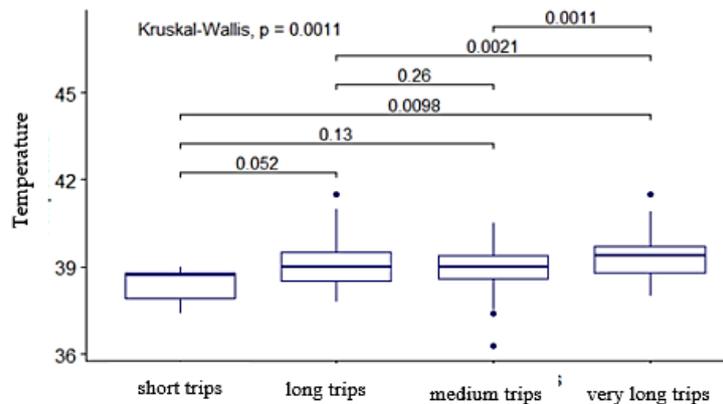


Figura 2. Influencia de la temperatura en los diferentes tiempos de transporte al feedlot.

En la Tabla 1 se muestran las técnicas de aturdimiento. El aturdimiento eléctrico del ganado bovino utiliza 200 - 400 V y 1,5 - 2,5 A, mientras que en los cerdos utiliza 70 - 90 V y 1,3 - 1,5 A, lo que reduce el estrés y mejora el bienestar animal. La compresión del aire dispara un perno a 55 - 60 m/s con una presión de 8 - 10 bar, lo que provoca insensibilidad en 3 - 10 s. Ambas técnicas garantizan un sacrificio humanitario y cumplen con las normas higiénico-sanitarias.

En la Tabla 2 se muestran los niveles óptimos de control de pH y temperatura en el proceso de faenado. Para vacuno y cerdo, el pH debe bajar de 6,8 - 7,2 a 5,4 - 5,8 (vacuno) y 5,5 - 5,8 (cerdo) en las 24 h post-mortem. Las temperaturas iniciales son 37 - 39 °C (vacuno) y 38 - 40 °C (cerdo), manteniéndose a 0 - 4 °C post-mortem. La maduración óptima es de 14 - 21 días

(bovino) y 5 - 10 días (cerdo) con una humedad del 85% - 90%. Es fundamental minimizar el estrés, controlar el pH y la temperatura, enfriar rápidamente y mantener buenas condiciones de higiene.

En la Tabla 3 se muestra el impacto del pH y la temperatura sobre la ternura y el sabor de la carne muscular de res y cerdo. El pH y la temperatura tienen una influencia significativa sobre la ternura y el sabor de la carne. Un pH bajo (< 5,8) en la carne de res endurece la carne, mientras que un pH alto (> 5,8) mejora la ternura y el sabor. En el cerdo, un pH bajo (< 5,5) produce carne PSE, afectando negativamente la ternura y el sabor, mientras que un pH medio (5,6 - 5,8) mejora ambas cualidades. Las temperaturas controladas (0 - 4 °C) son esenciales para mantener la ternura y el sabor.

**Tabla 1**  
Métodos de aturdimiento

Método	Parámetros bovinos	Parámetros porcinos	Beneficios	Referencia
Aturdimiento eléctrico	200 - 400 V, 1,5 - 2,5 A, electrodos de cabeza	70 - 90 V, 1,3 - 1,5 A, electrodos de cabeza/núcleo	Pérdida de conocimiento más rápida, menos estrés, mejor calidad de la carne	(Carrillo, 2023)
Aturdimiento con aire comprimido	8 - 10 bar, perno a 55 - 60 m/s en la cabeza	8 - 10 bar, perno a 55 - 60 m/s en la cabeza	Inconsciencia inmediata, sacrificio humano y ético	(Jerez et al., 2020)

**Tabla 2**  
Factores óptimos de sacrificio

Parámetro	Niveles óptimos	Referencia
pH inicial	Ovinos: 6,8 - 7,2; Porcinos: 6,5 - 6,8	(Jankowiak et al., 2021)
pH final (24 h postmortem)	5,5 - 5,8	(Jankowiak et al., 2021)
Temperatura inicial	Bovino: 37 - 39 °C; Porcino: 38 - 40 °C	(Jankowiak et al., 2021)
Temperatura postmortem	0 - 4 °C	(Lunavictoria & Rodríguez, 2021)
Época de maduración del ganado	14 - 21 días; Porcinos: 5 - 10 días	(Jankowiak et al., 2021)
Humedad relativa	85 - 90%	(Jankowiak et al., 2021)
Matanza rápida	2 - 4 °C/h (primeras 4 h), luego 0 - 4 °C	(Jankowiak et al., 2021)
Control continuo del pH	Reducir el estrés	(Lebret & Čandek, 2022)
Control de temperatura	Monitorizar el pH	(Mariño & Tivan, 2022)
Enfriamiento rápido	Mantener temperaturas adecuadas	(Montoya et al., 2020)
Condiciones de maduración	Control de humedad y temperatura	(Montoya et al., 2020)
Higiene y limpieza	Mantenga la carne limpia	(Montoya et al., 2020)

**Tabla 3**  
Impacto del pH y la temperatura en la ternura y el sabor de la carne

Factor	Animal	Impacto en la ternura	Impacto en el sabor	Referencia
pH	Bovino	Un pH bajo (< 5,8) produce carne dura. Un pH (> 5,8) puede dar como resultado una carne más tierna	Un pH bajo afecta el sabor, haciéndolo más ácido y metálico. Un pH más alto puede realzar el sabor de compuestos del sabor	(Maza & Vivanco, 2022)
	Porcino	Un pH bajo (< 5,5) puede provocar carne pálida, blanda y exudativa (PSE), lo que afecta negativamente a la ternura. Un pH adecuado (5,6 - 5,8) produce carne más tierna	Un pH bajo puede provocar sabor y pérdida de jugosidad. Un pH adecuado mejora el sabor natural y retención de jugo	(Pariamanco, 2019)
Temperatura	Bovino	Un sacrificio intenso puede provocar una rápida caída del pH, lo que da como resultado una carne dura. Las temperaturas controladas (0 - 4 °C) mejoran la ternura durante la maduración	Las altas temperaturas durante el sacrificio pueden desnaturalizar proteínas y afectan negativamente el sabor	(Barragán-Hernández et al., 2021).
	Porcino	Las altas temperaturas post mortem pueden causar PSE y reducir la ternura. Temperaturas controladas (0 - 4 °C) ayudan a prevenir la PSE y mejorar la ternura.	Altas temperaturas pueden provocar sabores indeseables. Las temperaturas controladas preservan los compuestos del sabor y mejoran el perfil organoléptico	(Rossi, 2020)

La Tabla 4 muestra la influencia de diferentes pH y temperaturas después del sacrificio de la canal. El valor p es 0,015, menor que 0,05, lo que indica que el pH tiene un efecto significativo en la calidad de la carne después del sacrificio. A medida que cambia el pH, también lo hace la calidad. El valor p es 0,027, también menor que 0,05, por lo que la temperatura posterior al sacrificio tiene un efecto significativo en la calidad de la carne. El valor p es 0,395, lo que significa que la interacción entre el pH y la temperatura no es significativa en este caso. Esto sugiere que los efectos del pH y la temperatura actúan de forma independiente en la calidad de la carne.

En la Tabla 5 se muestra la influencia de diferentes pH y temperaturas en la maduración de la canal.

El valor p es 0,007, lo que indica que el pH tiene un efecto significativo en el tiempo de maduración de la carne. Diferentes niveles de pH afectan la tasa de maduración. El valor p es 0,001, lo que indica que la temperatura tiene un efecto muy significativo en la maduración de la carne. Las temperaturas más bajas tienden a ralentizar el proceso de maduración. El valor p es 0,234, mayor que 0,05, lo que indica que no hay interacción significativa entre el pH y la temperatura en términos de su efecto en la maduración de la carne. Esto sugiere que ambos factores influyen independientemente en la maduración.

Este estudio indica que el aturdimiento eléctrico en bovinos requiere voltajes de 200 - 400 V y corrientes de 1,5 - 2,5 A, mientras que en cerdos son menores (70-90 V y 1,3 - 1,5 A), reduciendo el estrés y mejorando el bienestar animal. Comparativamente, según el estudio de Farvid et al. (2020) mencionan que la consistencia en las técnicas de aturdimiento eléctrico requiere voltajes de 210 V y corrientes de 1,5 A, por otro lado, en cerdos se utilizan corrientes de 80

V y voltajes 1,7 A, pero se observaron variaciones en la colocación de los electrodos y esto podría influir en la efectividad y el nivel de estrés del animal.

En cuanto al aturdimiento con aire comprimido, se utiliza una presión de 8 - 10 bares para lograr un rápido desvanecimiento del animal. Comparativamente, el estudio de Guevara et al. (2023) sugiere que podrían ser necesarias presiones más altas en ciertos contextos para garantizar una insensibilidad adecuada, destacando la importancia de ajustar la velocidad de la pistola de perno cautivo para minimizar el tiempo de conciencia del animal.

Los valores óptimos de pH inicial oscilarán entre 6,8 y 7,2 y se alcanzarán valores de pH que se encuentren entre 5,5 y 5,6 en cerdos y bovinos, siendo cruciales para la calidad de la carne. Según Tuninetti et al. (2017) establece que un pH post-mortem de 5,5 puede estar asociado a una mayor terneza en carne de vacuno y de cerdo, la temperatura post-mortem debe mantenerse a 0 - 4 °C.

Un pH bajo (< 5,8) puede endurecer la carne debido a las contracciones musculares. Un pH alto (> 5,8) mejora la terneza y el sabor al preservar los compuestos de sabor en la carne de res. Por otro lado, un pH bajo (< 5,5) puede facilitar la aparición de carnes PSE en la carne de cerdo, lo que reduce la terneza y el sabor. Un pH medio (5,5 - 5,6) proporciona más terneza y sabor, de acuerdo con el estudio de Zamora (2018) encontró que un pH bajo (< 5,8) provoca contracciones musculares que endurecen la carne. Sin embargo, señala que un pH óptimo para la carne de res debe ser ligeramente superior a 5,5 a 5,6 para maximizar la terneza sin comprometer otros aspectos de la calidad, en los cerdos un pH bajo (< 5,5) provoca la aparición de carne PSE. Señalan que un pH óptimo está en el rango de 5,5 - 5,6, para asegurar una mejor textura y sabor.

**Tabla 4**

Impacto de la temperatura y el pH después del sacrificio de la canal

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SS)	Grados de libertad (gl)	Cuadrados medios (CM)	Valor F	valor p
pH	6,5	3	2,167	5,42	0,015
Temperatura	4,2	2	2,100	5,25	0,027
Interacción (pH*Temp)	2,5	6	0,417	1,04	0,395
Error	5,0	12	0,417		
Total	18,2	23			

**Tabla 5**

Impacto de la temperatura y el pH en la maduración de la canal

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SS)	Grados de libertad (gl)	Cuadrados medios (CM)	Valor F	valor p
pH	7,2	3	2,4	6,67	0,007
Temperatura	15,5	2	7,75	21,54	0,001
Interacción (pH*Temp)	3,5	6	0,583	1,62	0,234
Error	4,3	12	0,558		
Total	30,5	23			

Jankowiak et al. (2021) han demostrado que el conocimiento de los cambios moleculares inducidos por el pH y la temperatura permite el desarrollo de métodos de procesamiento de la carne más específicos, como el uso de soluciones de ajuste de pH o técnicas de marinado enzimático. Comprender cómo responden las proteínas musculares a diferentes condiciones permite, por ejemplo, identificar puntos críticos para evitar la desnaturalización excesiva o la rigidez de la carne, contribuyendo a innovaciones con base científica.

La disminución del trifosfato de adenosina (ATP) en el tejido muscular es clave en el proceso bioquímico que conduce a la rigidez de la carne, conocida como rigor mortis. Según Calderón et al. (2020), el ATP se agota después de la muerte del animal debido a la falta de oxígeno y la incapacidad de las células musculares para regenerarlo. Sin ATP, las fibras musculares no pueden relajar los enlaces entre la actina y la miosina, lo que provoca la contracción y rigidez en el tejido muscular. La maduración de la carne comienza después de la fase de rigor mortis, cuando las enzimas endógenas comienzan a degradar las proteínas musculares, mejorando la ternura. Astiti et al. (2021) explican que las principales enzimas involucradas en este proceso son las catepsinas, calpaínas y proteasas lisosomales, que degradan las proteínas miofibrilares y el colágeno. Las calpaínas, activadas por el calcio, rompen enlaces proteicos específicos en la estructura muscular, mientras que las catepsinas, que actúan en ambientes ácidos, continúan el proceso de ablandamiento durante el almacenamiento.

#### 4. Conclusiones

El aturdimiento de los animales de granja se puede realizar con electricidad o con aire comprimido. En el caso del aturdimiento eléctrico en el ganado bovino, se utilizan voltajes de 200 - 400 V con corrientes de 1,5 - 2,5 A, mientras que, en el caso de los cerdos, se utilizan voltajes de 70 - 90 V con corrientes de 1,3 - 1,5 A. Durante la desensibilización de los animales, se garantiza un rápido desvanecimiento del animal, lo que da como resultado una reducción del estrés del animal. Por otro lado, el aturdimiento con aire comprimido utiliza una presión de 8-10 bares para disparar un perno cautivo a una velocidad de 55 - 60 m/s provocando que el animal caiga muerto.

Por tanto, un aturdimiento inadecuado, ya sea eléctrico o con aire comprimido, genera efectos negativos. En bovinos y cerdos, puede causar lesiones y sufrimiento innecesarios. En la carne, compromete la calidad de la misma, puede provocar daños musculares, contaminación bacteriana y, en casos excepcionales, la presencia de residuos eléctricos.

Estos últimos representan un riesgo potencial para la salud humana.

Tras la muerte del animal, el ATP se agota por falta de oxígeno, lo que impide que las fibras musculares relajen los enlaces actina-miosina, provocando contracción y rigidez (rigor mortis). La acumulación de iones calcio intensifica esta rigidez. Durante la maduración, las enzimas calpaínas, catepsinas y proteasas lisosomales degradan las proteínas miofibrilares y el colágeno, ablandando la carne. Las calpaínas actúan en presencia de calcio, mientras que las catepsinas, en ambientes ácidos, siguen ablandando durante el almacenamiento. Para que obtengamos una calidad óptima en la carne procedente del sacrificio y despiece en bovinos y porcinos, es importante la evolución del pH, la variación de la temperatura, la velocidad de enfriamiento. El proceso se inicia con pH de 6,8 - 7,2 que posteriormente desciende hasta niveles de 5,4 - 5,8 (vacuno) y 5,5 - 5,8 (cerdo) "post mortem", con temperaturas iniciales de 37-39 °C (vacuno) y 38 - 40 °C (cerdo), condiciones de maduración temperaturas iniciales de 0 - 4 °C. La maduración óptima del ganado bovino es de 14 - 21 días y la del cerdo de 5-10 días con humedades del 85% - 90%.

En la carne de vacuno, un pH alto (pH < 5,8) confiere dureza a la carne, mientras que un pH de 5,5 mejora la ternura. Por el contrario, en la carne de cerdo un pH bajo (< 5,5) puede facilitar la aparición de carnes PSE; pero si el pH es medio (5,5 - 5,6), mejora la ternura y el sabor. Por otro lado, el control de la temperatura a valores muy bajos (0 - 4 °C) estimula la maduración de la carne, conserva el sabor y evita la desnaturalización de todas las proteínas.

#### Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Babahoyo por promover la investigación en el área de seguridad alimentaria.

#### Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

#### Referencias bibliográficas

- Astiti, N. M. A. G. R., Wedaningsih, K. N., & Parwata, I. K. W. (2023). Physical composition of beef carcass to selling price. *Interdisciplinary Journal and Hummanity (INJURITY)*, 2(6), 529-533. <https://doi.org/10.58631/injury.v2i6.86>
- Ayala Vargas, C. (2018). Importancia nutricional de la carne. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(ESPECIAL), 54-61.
- Barragán-Hernández, Mahecha-Ledesma, Olivera-Angel, Angulo-Arizala, Burgos-Pazos, Cerón-Muñoz, & Rodríguez-Durán. (2021). ¿Cómo los consumidores valoran atributos de calidad de carne bovina y su disposición a pago? *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1), 167-179. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(19\)167-179](https://doi.org/10.18684/bsaa(19)167-179)

- Cabrera, K. A. T., Montealegre, V. J. G., Campoverde, J. M. Q., & Romero, H. R. C. (2023). Pronóstico de la demanda de carne de ganado vacuno en la provincia de El Oro, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5468-5482. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4866](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4866)
- Carrillo, J. (2023). Medición de pH en carne y productos cárnicos. *Cientisol*. <https://cientisol.com/medicion-de-ph-en-carne-y-productos-carnicos/>
- Cellan Zeas, B. D., & Suconota Pérez, J. A. (2019). Implementación de normas BPM en el camal municipal del cantón El Triunfo [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Milagro]. Repositorio UNEMI.
- Calderón Juma, M. À., & Yumisaca Soque, J. D. (2017). Estandarización de los procedimientos para el faenamiento de ganado ovino y porcino en el camal municipal del cantón Colta [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo].
- Ding, Z., Wei, Q., Liu, C., Zhang, H., & Huang, F. (2022). The quality changes and proteomic analysis of cattle muscle postmortem during rigor mortis. *Foods*, 11(2), 217. <https://doi.org/10.3390/foods11020217>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., & Katsanidis, E. (2022). Efecto de la temperatura del proceso sobre el estado físico de los componentes de la carne de res: implicaciones sobre la cinética de difusión durante la deshidratación osmótica. *Tecnología de Alimentos y Bioprocesos*, 15(3), 706-716. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02778-4>
- Faucitano, L., & Nannoni, E. (2023). Sistemas de producción porcina y efectos relacionados sobre el bienestar animal y la calidad de la carne antes del sacrificio. *Revista Italiana de Ciencia Animal*, 22(1), 513-523.
- Farvid, M. S., Cho, E., Chen, W. Y., Eliassen, A. H., & Willett, W. C. (2015). Consumo de carne en adolescentes y riesgo de cáncer de mama. *Revista Internacional de Cáncer*, 136(8), 1909-1920. <https://doi.org/10.1002/ijc.29218>
- Gómez, A. A. R., González, C. E. B., & Pavón, C. R. dos S. (2022). Evaluación del control de calidad de la carne vacuna consumida en la ciudad de Pilar, año 2017. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 1142-1162. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i1.1565](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1565)
- García Ávila, G. A., Martínez Cepeda, G. E., Zambrano Garay, W. H., & Zambrano, J. A. (2021). Alteraciones de pH y temperatura en el canal por factores relacionados con el transporte del ganado previo al sacrificio. *La Técnica, (Edición Especial)*, 95-109.
- Guevara-Freire, D., Valle, L., Avilés-Esquivel, D., Salazar, I., Benítez, V., & Romero, R. (2023). Evaluación del bienestar animal en tres plantas de faenamiento municipal del suroeste del Ecuador. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(5). <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i5.22199>
- Hernández, J., & Jessuly, Y. (2020). Cumplimiento de normativas de sacrificios ante-mortem en el establecimiento número dos ubicado en el municipio de Tipitapa-Managua, período de mayo a noviembre 2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria].
- Hernández Bautista, J., Aquino López, J. L., & Ríos Rincón, F. G. (2013). Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh*, 7(2), 41-64.
- Irreño-Barrera, F. J., Escorcía-Álvarez, N. S., Navarro-Gómez, G. M., Gómez-Osorio, L. M., Aguilar-Galvis, F. A., Urrea-Urrea, I. J., & Sanmartín-Suárez, C. M. (2022). Avances recientes en el estudio de factores de estrés prefaenado sobre la calidad de la carne bovina, aviar y porcina. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 249-264. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.023>
- Jerez-Timaure, N., Trompiz, J., Mendoza, E., Ventura, M., Arispe, M., & Ortega, L. (2020). Evaluación del método de aturdimiento y tiempo de reposo corto sobre las características de la canal y la carne de cerdo. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18722>
- Jankowiak, H., Cebulska, A., & Bocian, M. (2021). The relationship between acidification (pH) and meat quality traits of polish white breed pigs. *European Food Research and Technology*, 247(11), 2813-2820. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03837-4>
- Lunavictoria, J. C. S., & Rodríguez, C. A. D. (2021). Análisis de la producción y consumo de carne en la provincia de Chimborazo, Ecuador. *Conciencia Digital*, 4(2.1), 81-91. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1.1709>
- Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022). Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. *Animal*, 16, 100402. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100402>
- Mariño Vargas, B. D., & Tivan Rivera, D. E. (2022). Estudio de tiempos para la optimización de los procesos de faenamiento en el camal del Municipio de Baños de Agua Santa [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Montoya-Camacho, N., Márquez-Ríos, E., Castillo-Yáñez, F. J., López-Elías, J. A., Ruíz-Cruz, S., Jiménez-Ruiz, E. I., Rivas-Vega, M., Ocaño-Higuera, V. M. (2020). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el rigor mortis del músculo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biotecnia*, 22(2), 88-93. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1249>
- Maza Farías, I. S., & Vivanco Medranda, X. (2022). Inclusión de mucílago de cacao (Teobroma cacao L.) en una cerveza artesanal y su efecto en la clasificación [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Manabí].
- Pariamanco, D. C. (2019). Factores predisponentes a carnes DFD en canales de vacunos criollos faenados en el matadero de Quicapata - Ayacucho 2,760 m.s.n.m. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Peña, D. S. P. (2019). Valorar la influencia del tiempo y tipo de transporte en factores de calidad cárnica porcina en la empresa pública de rastro Santo Domingo [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas]. Repositorio UDLA. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10991/1/UDLA-EC-TMVZ-2019-22.pdf>
- Rossi, A. (2020). La rigidez cadavérica, el espasmo cadavérico y tipos de fibras musculares. *Revista de la Asociación Médica Argentina*, 12-20.
- Rodríguez de Guzmán Fuentes, A. (2021). Métodos de aturdimiento en mataderos e implicaciones en la calidad de la carne y en el bienestar animal [Tesis de pregrado]. Universidad de Santiago de Compostela.
- Serrano, E., Humada, J., & Maestro, G. (2012). Manejo pre y post sacrificio: Influencia sobre la calidad de la carne de vacuno. Imprenta Regional de Cantabria. [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/carne\\_y\\_subproductos/197-manual\\_carne.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/197-manual_carne.pdf)
- Tuninetti, N., Blainq, L., & Otero, J. L. (2017). Evaluación de hematomas y PH en canales bovinos en un establecimiento de la provincia de Santa Fe. *InVet*, 19(1), 31-42.
- Zamora, R., & del Rocío, L. (2018). Carne del ganado vacuno. Observatorio de la Economía Latinoamericana, (abril). <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/04/calidad-carne-ecuador.html>