

## Calidad de la carne porcina: una revisión de factores determinantes ante mortem y post mortem

### Pork meat quality: a review of ante mortem and post mortem determinant factors

\*Pacífico Bonilla. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

[pacifico.bonilla@up.ac.pa](mailto:pacifico.bonilla@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0009-0006-2123-9282>

Richard Mudarra. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

[richard.mudarra@up.ac.pa](mailto:richard.mudarra@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>

Víctor Sánchez. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

[victor.sanchezs@up.ac.pa](mailto:victor.sanchezs@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0009-0008-2497-2636>

Carlos Solís. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

[carlos.solis@up.ac.pa](mailto:carlos.solis@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0003-2472-556X>

\*Autor de Correspondencia: [pacifico.bonilla@up.ac.pa](mailto:pacifico.bonilla@up.ac.pa)

Recibido: 10/08/2025

Aceptado: 13/11/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n1.a8828>

**RESUMEN.** La calidad de la carne porcina es el resultado de una interacción compleja entre factores biológicos, ambientales y tecnológicos que participan a lo largo de toda la cadena de producción. Los factores *ante mortem*, como la genética, la nutrición, el manejo, el sexo, la edad y el bienestar animal, determinan la composición muscular y la respuesta metabólica del animal al sacrificio. Por su parte, los factores *post mortem*, como la velocidad de enfriamiento, el pH, la estimulación eléctrica (EE), la acidificación, la maduración y el almacenamiento, condicionan los procesos bioquímicos de la carne, comprometiendo en gran medida las propiedades sensoriales y tecnológicas, como el color, el sabor, la terneza, la maduración, la capacidad de retención de agua y los rendimientos en canal. La evidencia recopilada en esta revisión muestra que los niveles de estrés, la disponibilidad de glucógeno y la velocidad de acidificación de las carcasas están directamente relacionados con la aparición de defectos de calidad, como la carne PSE (pálida, suave y exudativa) y DFD (oscura, firme y seca), lo que refleja la importancia de analizar las interacciones entre los factores previos y posteriores al sacrificio, con el fin de optimizar los procesos productivos, reducir las pérdidas y obtener productos que respondan a las exigencias actuales en materia de calidad, inocuidad y procesamiento.

**PALABRAS CLAVE:** bienestar animal, carcasas, estimulación eléctrica, glucólisis, pH muscular, terneza.

**ABSTRACT.** The quality of pork meat results from a complex interaction among biological, environmental, and technological factors that operate throughout the entire production chain. *Ante mortem* factors such as genetics, nutrition, management, sex, age, and animal welfare determine muscle composition and the metabolic response of the animal at slaughter. In contrast, *post mortem* factors including chilling rate, pH, electrical stimulation (ES), acidification, aging, and storage influence the biochemical processes of meat, largely determining its sensory and technological properties such as color, flavor, tenderness, maturation, water-holding capacity, and carcass yield. Evidence gathered in this review indicates that stress levels, glycogen availability, and carcass acidification rate are directly related to the occurrence of quality defects such as PSE (pale, soft, and exudative) and DFD (dark, firm, and dry) meat. This highlights the importance of analyzing the interactions between *ante* and *post* slaughter factors to optimize production processes, reduce losses, and obtain products that meet current demands for quality, safety, and processing.

**KEYWORDS:** animal welfare, carcasses, electrical stimulation, glycolysis, muscle pH, tenderness.

## INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo es una de las más consumidas a nivel mundial, y su demanda ha mostrado un crecimiento constante en las últimas décadas (Godfray et al., 2018). Actualmente, representa aproximadamente el 35 % del consumo mundial total de carne (Kim et al., 2023).

En las dietas de los consumidores, la carne de cerdo constituye una fuente importante de proteína animal de alto valor biológico, además de aportar vitaminas, minerales y ácidos grasos esenciales (Murphy et al., 2011). Según Kim et al. (2023), en los últimos años, el interés de los consumidores por la seguridad alimentaria, la calidad del producto y las dietas saludables ha aumentado significativamente, generando un impacto directo en los patrones de consumo y en la industria cárnica. Aunque factores tradicionales como el nivel de ingresos o el precio de la carne mantienen cierta influencia, se prevé que el valor atribuido a la calidad adquiera una relevancia cada vez mayor en las decisiones de compra.

El concepto de calidad de la carne de cerdo se puede categorizar en dos aspectos principales: calidad del proceso de producción y calidad del producto (Olsson y Pickova, 2005). La calidad del proceso de producción comprende todas las prácticas implementadas a lo largo de la cadena porcina, desde las etapas ante mortem, que incluyen el manejo, la alimentación, el bienestar y el transporte de los animales, hasta las fases post mortem, relacionadas con el sacrificio, procesamiento, almacenamiento y distribución de la carne (Jankowiak et al., 2021).

Zmudzińska et al. (2020), mencionan que la calidad del producto cárnico puede analizarse a partir de distintos componentes. En primer lugar, la calidad funcional, que abarca parámetros fisicoquímicos como el pH inicial y final, la capacidad de retención de agua, el marmoleo y la composición lipídica. En segundo lugar, la calidad sensorial, que incluye las características percibidas durante el consumo como color, olor, sabor, textura, terneza y firmeza. También se considera la calidad nutricional, vinculada con el contenido de proteínas de alto valor biológico, vitaminas y ácidos grasos esenciales, y finalmente la calidad higiénico-sanitaria, relacionada con la inocuidad y seguridad alimentaria. El objetivo de esta revisión es identificar y analizar los factores ante mortem y post mortem que influyen en la calidad de la carne porcina, destacando su interacción y relevancia para la producción porcina sostenible.

## CONTENIDO

### Factores que Afectan la Calidad de la Carne de Cerdo

La calidad de la carne de cerdo está influenciada por una multitud de factores, incluidos el genotipo (antecedentes genéticos del cerdo), las condiciones de crianza (nivel de alimentación, sistema ambiental y de alojamiento), el manejo previo al sacrificio, el método de sacrificio, las condiciones de almacenamiento, etc. Los factores importantes que afectan la calidad de la carne de cerdo antes y después del sacrificio se clasifican de la siguiente manera: 1) Factores que influyen en la calidad antes del sacrificio: genética, raza, sexo, edad y peso, sistema de crianza, dieta, manejo previo al sacrificio; 2) Factores que influyen en la calidad después del sacrificio: maduración de la carne, condiciones de almacenamiento (Figura 1) (Pandey et al., 2024).

#### Figura 1

*Diagrama esquemático de los factores que afectan la calidad de la carne de cerdo.*



## Genética

La industria de la carne ha considerado durante mucho tiempo las consideraciones genéticas en la producción de carnes procesadas de alta calidad para la calidad culinaria y tecnológica, ya que los antecedentes genéticos de un animal pueden afectar el crecimiento, la eficiencia alimenticia, la composición de la carcasa y la calidad de la carne (Cannon et al., 1995).

Según de Vries et al. (1994), la calidad de la carne porcina no depende exclusivamente de la genética, aunque esta ejerce un papel importante, explicando entre un 10 % y un 30 % de su variabilidad. El resto está determinado por factores externos al animal, como las condiciones de manejo, transporte y mercado antes del sacrificio (15 % - 25 %), así como por el proceso de sacrificio propiamente dicho, que puede representar cerca del 40 % de la influencia total. En conjunto, destacan la importancia de comprender la interacción entre el componente genético y el ambiente de producción para garantizar una carne de cerdo de alta calidad.

Aunque existen numerosas razas porcinas, la industria porcina utiliza principalmente esquemas de cruzamiento entre un número limitado de razas para aprovechar la heterosis (vigor híbrido) y la complementariedad de líneas en rasgos económicos clave (Mote & Rothschild, 2020).

De acuerdo con Ciobanu et al. (2011), la selección genética en porcinos busca reducir la incidencia de alelos con efectos negativos sobre la calidad de la carne, los cuales alteran procesos metabólicos clave del músculo. Entre los genes más relevantes se encuentran el gen del halotano (RYR1), cuya mutación R615C se asocia con síndrome de estrés porcino y el desarrollo de carne PSE (pálida, suave y exudativa), y el gen rendimiento apole (RN), identificado por la sustitución R200Q en el gen PRKAG3, relacionado con un exceso de glucógeno muscular y un pH final anormalmente bajo. Ambos genes afectan la glucólisis muscular *post mortem* (disminución del pH), reduciendo la capacidad de retención de agua y eventualmente aumentando la dureza de la carne. Esto resulta en una rápida reducción del pH y la desnaturalización de las proteínas de las células musculares, lo que finalmente conduce al desarrollo de carne PSE con menor retención de agua en el tejido muscular.

Autores como Fàbrega et al. (2002), han reportado que cerdos portadores del gen del halotano pueden presentar ciertas ventajas productivas frente a los animales negativos para dicha mutación, donde se manifestó mejoras en la eficiencia alimentaria y un mayor rendimiento de la canal,

aspectos que históricamente justificaron su utilización en programas de selección orientados al crecimiento y la productividad. El gen RN, por otro lado, se descubrió en la raza Hampshire y está vinculado con una disminución prolongada del pH *post mortem*; por lo tanto, la carne de animales portadores del gen RN a menudo se denomina "carne ácida" debido a su bajo pH (Rosenvold & Andersen, 2003).

## Cría

Los sistemas de producción extensiva pueden presentar una variedad de condiciones de alojamiento (acceso al aire libre, libertad), programas específicos de manejo de la alimentación, comercialización a edades más avanzadas y pesos más elevados en el sacrificio, y uso de razas locales para aumentar la calidad organoléptica. Esto incluye un mayor contenido de grasa intramuscular, una composición de ácidos grasos más favorable, un color más rojizo y una mayor ternura y jugosidad, en comparación con el uso de cerdos "convencionales" y condiciones de crianza convencionales para la producción de carne de cerdo (Bonneau & Lebret, 2010). La crianza extensiva estimula la actividad física e integra la influencia de las temperaturas ambientales, que pueden afectar las propiedades bioquímicas, metabólicas y contráctiles de los músculos y diferenciar aún más los atributos organolépticos de la carne de cerdo de las razas locales en comparación con razas más comerciales en confinamiento (Lefaucheur & Lebret, 2020).

## Sexo

Lebret & Čandek-Potokar (2022), señalan que el sexo es un factor fisiológico que puede influir en la calidad sensorial de la carne porcina. En los machos no castrados, la presencia de olor a verraco se asocia con concentraciones elevadas de androstenona (5 $\alpha$ -androst-16-en-3-ona) y de los metabolitos del triptófano escatol e indol en el tejido adiposo, los cuales generan olores y sabores indeseables percibidos durante la cocción.

Está bien establecido que los machos enteros (ME) son los más magros, seguidos de las hembras (HE) y los machos castrados (MC) (Pauly et al., 2012; Trefan et al., 2013). Los costos totales de producción también son más bajos al alimentar ME que MC o HE, debido a su mayor eficiencia alimenticia y retención de proteínas. Bee et al. (2015), señalan que la castración quirúrgica de lechones machos es ahora un problema de bienestar animal en muchas partes del mundo. Si bien ahora se promueve la producción de ME, no obstante, existe un riesgo real de que los cortes de carne proveniente de ellos presenten olor a verraco, un defecto sensorial que puede ocasionar su rechazo por parte de los inspectores o consumidores, e incluso su decomiso en planta, al considerarse no aptos para el consumo humano.

## Alimentación y Aditivos

Wood & Enser (1997), mencionan que los cerdos, al ser animales monogástricos, presentan una alta eficiencia en la absorción y deposición de nutrientes dietarios, por lo que diversos componentes de la dieta pueden transferirse directamente a los tejidos musculares y adiposos, modificando de manera significativa la composición química y las propiedades tecnológicas de la carne. El aumento del contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la dieta provoca una mayor proporción de AGPI en la grasa del cerdo, lo que puede mejorar el perfil lipídico desde el

punto de vista nutricional, pero al mismo tiempo disminuye la estabilidad oxidativa de la carne y la grasa, este fenómeno se debe a que los AGPI son más susceptibles a la oxidación lipídica, proceso que conduce a la formación de compuestos volátiles responsables de sabores y olores rancios. La oxidación lipídica representa uno de los principales mecanismos de deterioro de la calidad de la carne, afectando su color, sabor, textura, valor nutritivo y vida útil. En este sentido, la composición de ácidos grasos del músculo se considera un factor determinante para la estabilidad oxidativa y la aceptabilidad sensorial del producto.

Además de los ácidos grasos, la composición vitamínica y mineral de la dieta desempeña un papel esencial en la calidad de la carne porcina. En un estudio realizado por Buckley et al. (1995), se demostró que la vitamina E es un antioxidante liposoluble clave cuya función principal es proteger las membranas biológicas frente a los procesos de peroxidación lipídica, una de las principales causas del deterioro de la calidad de los alimentos musculares. Investigaciones desarrolladas por Rosenvold et al. (2002) evidencian que las reservas de glucógeno muscular en el momento del sacrificio pueden modificarse mediante la alimentación, influyendo así en la velocidad de descenso del pH *post mortem* y, posiblemente, en la calidad tecnológica de la carne.

El uso de grasas insaturadas (como aceites vegetales o grasas de pescado) en la alimentación porcina incrementa la insaturación del tejido adiposo, lo que puede resultar en texturas más blandas, menor firmeza y mayor tendencia al enranciamiento durante el almacenamiento (Warnants et al., 1998). Por esta razón, la selección adecuada de la fuente lipídica en las dietas porcinas es crucial para equilibrar la calidad nutricional y tecnológica de la carne (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Alimentos y aditivos alimentarios que afectan la calidad de la carne de cerdo y sus efectos.*

Pienso/aditivo	Impacto en el sabor/aroma	Impacto en la calidad de la carne	Referencia
Aceite de pescado	Transferencia directa de sabor/aroma a la carne.	No especificado	(Ngapo & Gariépy, 2008)
Algas	Mejora la calidad de la grasa, posiblemente afecte el sabor.	Aumenta los niveles de AGPI	(Corino et al., 2019)
Vitamina E	No especificado	Aumenta la vida útil y la calidad (Reduce la oxidación, mejora la vida útil y la calidad)	(Ellis & McKeith, 2019)
Vitamina D3	No especificado	Mejora la ternura, reduce la pérdida por goteo, mejora el color.	(Wilborn et al., 2004)
Bicarbonato de sodio	No especificado	Reduce los casos de PSE	(Ellis & McKeith, 2019)
Extracto de caña de azúcar	Realza la dulzura	Aumenta el pH 24 h, reduce la fuerza de corte, disminuye la pérdida por goteo.	(Xia et al., 2017)

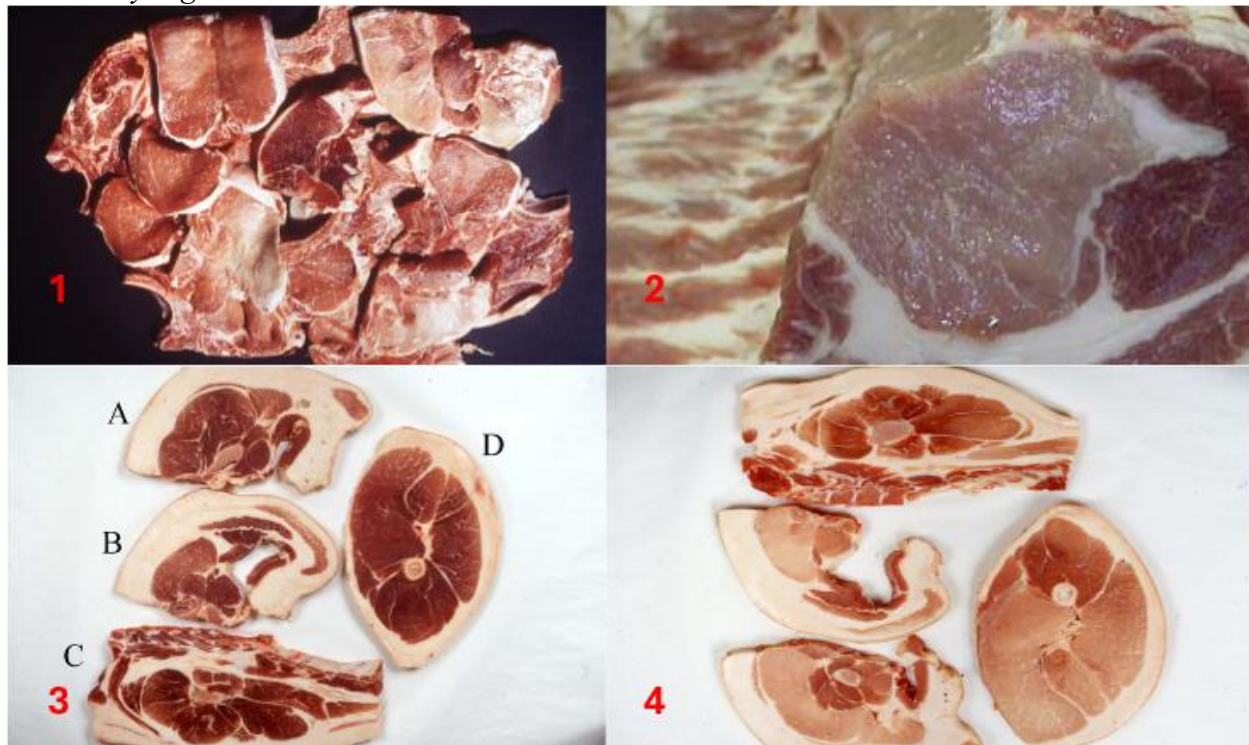
Se ha observado que alimentar a los cerdos con niveles elevados de sacarosa u otras fuentes de carbohidratos digestibles unos días antes del sacrificio o durante el reposo nocturno en los corrales de espera puede aumentar las reservas de glucógeno muscular y, por lo tanto, reducir el pH a las



24 horas (Rosenvold & Andersen, 2003). Como señalan Wang et al. (2024), la incidencia de carne DFD (oscura, firme y seca) podría disminuir, pero la incidencia de carne PSE (pálida, suave y exudativa) probablemente aumente, en especial en los portadores del gen Halotano, cuando se aplican estrategias de alimentación con azúcares, representada estas características en la figura 2.

### Figura 2

*Variación en la calidad de la carne de cerdo: comparación entre carnes PSE y DFD en distintos músculos y regiones de la canal.*



1. Parte superior izquierda: chuletas de cerdo compradas en un supermercado y dispuestas juntas para mostrar la variación en la calidad de la carne de cerdo; 2. Parte superior derecha: diferencia de coloración entre dos músculos en una superficie expuesta de la región lumbar de una canal porcina, el músculo de la izquierda es el *longissimus lumborum* presenta características de carne PSE (pálida, suave y exudativa), mientras que el músculo de la derecha es el *spinalis dorsi* muestra características de carne DFD (oscura, firme y seca); 3. Parte inferior izquierda: cortes transversales de una canal DFD, las regiones anatómicas de la canal se identifican como: A = grupa, B = lomo, C = paleta y D = pierna; 4. Parte inferior derecha: cortes transversales de una canal PSE, corresponden a las mismas regiones anatómicas de la canal indicadas en la figura de la izquierda.

Últimamente, ha habido un interés significativo en agregar altos niveles de vitamina D3 para mejorar la terneza de la carne del ganado. Wilborn et al. (2004) en un estudio evaluaron los efectos de alimentar altas cantidades de vitamina D3 a los cerdos de finalización durante los últimos 10 días antes del sacrificio. Los resultados no encontraron ningún efecto significativo en las cualidades de palatabilidad. Sin embargo, hubo una reducción en la pérdida por goteo y una mejora en el color del músculo en comparación con el grupo de control.

### Edad y Peso

De acuerdo con Ngapo & Gariépy (2008), los incrementos simultáneos en la edad y el peso al sacrificio de cerdos pesados se asocian con una mayor adiposidad de la canal (grasa dorsal) y un incremento en el contenido de grasa intramuscular, lo que en principio podría favorecer la calidad sensorial de la carne.

Según Lebret (2008), el aumento de la edad al sacrificio no siempre se traduce en una mayor deposición de grasa intramuscular, especialmente cuando se implementa restricciones en la alimentación, con el objetivo de controlar el crecimiento corporal, reducir el engorde excesivo o mejorar la eficiencia alimenticia. En tales condiciones, la limitación del consumo energético reduce la síntesis y almacenamiento de grasa, tanto a nivel muscular como subcutáneo, lo que contrarresta el efecto positivo que normalmente tendría una mayor edad fisiológica sobre la calidad sensorial de la carne.

Ngapo & Gariépy (2008) también destacan que los efectos combinados del peso y la edad al sacrificio sobre las propiedades organolépticas de la carne porcina no son consistentes entre estudios, lo cual podría atribuirse a factores de confusión, como las diferencias en el peso y la edad de comercialización de los animales, las estrategias de alimentación y manejo, o incluso las técnicas de cocción utilizadas.

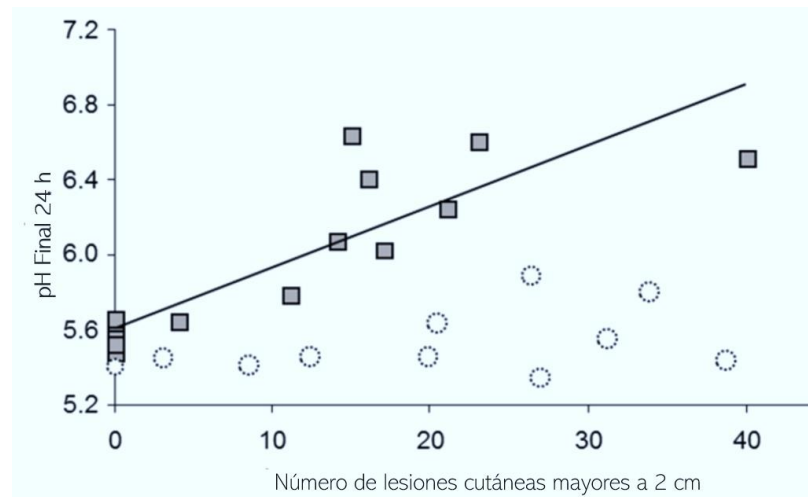
### Manejo Previo al Sacrificio y Condiciones de Sacrificio

Las actividades previas al sacrificio abarcan todas las actividades y procedimientos relacionados con los animales desde la granja hasta el matadero, incluyendo el transporte, el estabulado y el aturdimiento (Faucitano, 2018). Cualquier factor de estrés que ocurra durante esta fase puede afectar los cambios fisicoquímicos *post mortem* en la conversión de músculo a carne y, posteriormente, la calidad de la carne de cerdo (Terlouw et al., 2021). En el ganado vacuno y los cerdos, ciertas condiciones previas al sacrificio, como la mezcla de animales o el transporte a largo plazo, aumentan el riesgo de producción de carne con un pH final alto a nivel de grupo (Terlouw & Rybarczyk, 2008).

Según Terlouw et al. (2021), estudios que analizaron estos efectos en detalle demostraron que, en cerdos, los niveles de peleas se correlacionan linealmente con aumentos en el pH final a nivel individual (Figura 3). Además, frecuencias cardíacas más elevadas o concentraciones más altas de catecolaminas antes del sacrificio se asociaron con una rápida disminución del pH en las primeras etapas *post mortem* y con un pH final más alto. Estos cambios influyeron negativamente en el color de la carne y en su capacidad de retención de agua.

### Figura 3

*Efecto de las lesiones cutáneas sobre el pH final en cerdos.*

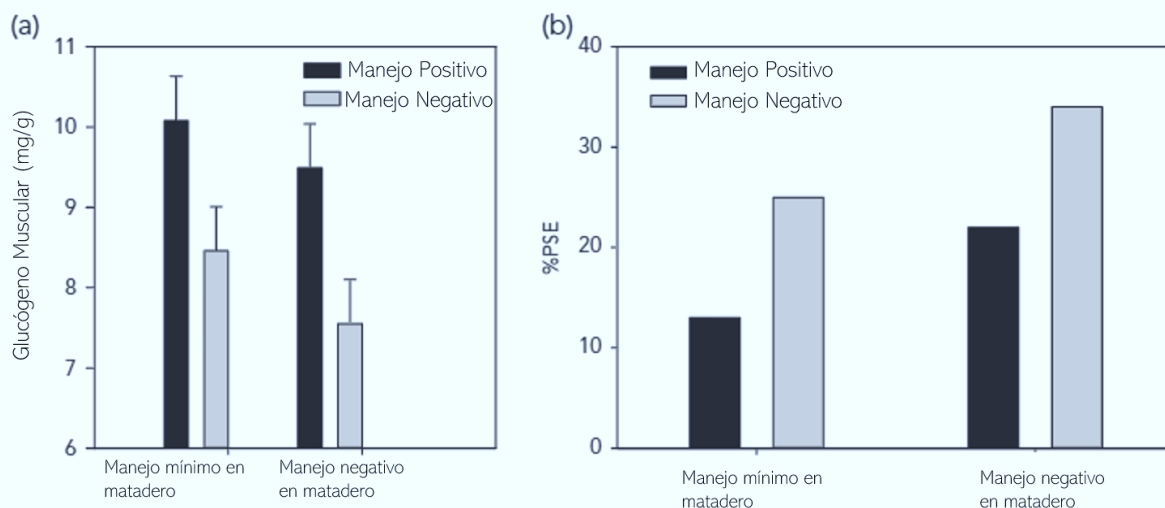


Los cuadrados representan cerdos Piértrain × (Large White × Landrace). El número de lesiones cutáneas, indicativas de interacciones agonísticas durante el confinamiento mixta en el matadero (18 h), se correlacionó con el pH a las 24 h *post mortem* del músculo *aductor femoral* ( $r = 0.89$ ;  $p < 0.001$ ).

Los cerdos sometidos a un manejo inadecuado en la granja muestran una mayor incidencia de carne PSE como se observa en la figura 4. Asimismo, los animales manipulados con picañas eléctricas antes del sacrificio presentan una frecuencia mucho mayor de PSE en comparación con aquellos manejados sin descargas eléctricas, con incidencias reportadas del 33-41 % frente al 8-9 % (Warner et al., 2018).

#### Figura 4

*Efecto del manejo en granja y previo al sacrificio sobre el glucógeno muscular y la incidencia de carne PSE en cerdos.*



Se consideró manejo positivo cuando los cerdos se acercaban individualmente al experimentador, eran acariciados suavemente; en tanto el manejo negativo cuando los cerdos se acercaban al experimentador, se les aplicaba una descarga eléctrica. También se evaluó el manejo previo al sacrificio con un manejo mínimo sin uso de fuerza o negativo en matadero que incluyó el uso de



impulsadores eléctricos sobre: (a) los niveles de glucógeno muscular y (b) el porcentaje de carne PSE).

### Almacenamiento y Estimulación Eléctrica

Se han estudiado muchos factores *post mortem* que afectan la calidad de la carne de cerdo, entre ellos el enfriamiento y la estimulación eléctrica (EE) de la carcasa. Debido a que el músculo PSE se produce cuando las proteínas musculares se desnaturalizan por altas temperaturas y bajo pH inmediatamente después de la muerte (Zhang et al., 2007). El enfriamiento rápido puede reducir rápidamente la temperatura y mejorar la calidad de la carne de cerdo al reducir la acidificación asociada al desarrollo de carne PSE.

Los métodos de enfriamiento acelerado incluyen enfriamiento instantáneo o criogénico, recorte de grasa caliente, duchas de agua fría, generalmente implican un procesamiento acelerado utilizando nitrógeno líquido, propilenglicol o sistemas de enfriamiento criogénico, aunque todos estos son procesos costosos, existen resultados contradictorios con respecto a su impacto en la calidad de la carne de cerdo. No obstante, Pandey et al. (2024) han reportado, a través de diversas investigaciones, que el valor de luminosidad ( $L^*$ ) de la carne de cerdo sometida a congelación rápida tiende a disminuir ligeramente en comparación con la carne refrigerada convencional, lo cual mejora el color y la apariencia general del producto. Esta reducción del valor  $L^*$  no implica el desarrollo de carne DFD, sino una corrección de la palidez excesiva característica de la carne PSE, alcanzando así un color más natural y equilibrado que refleja una mejor calidad tecnológica y sensorial.

La estimulación eléctrica aplicada a las canales después del sacrificio provoca una aceleración del desarrollo del *rigor mortis*, como consecuencia de una despolarización extensiva de las membranas celulares y contracciones musculares durante el proceso de estimulación (Warner et al., 2018).

Actualmente, existen tres tipos principales de EE. Estos son la estimulación eléctrica de voltaje extra bajo (ELVES), la estimulación eléctrica de bajo voltaje (LVES) y la estimulación eléctrica de alto voltaje (HVES). La ELVES se lleva a cabo a un voltaje de  $< 100$  V mientras que la HVES se lleva a cabo a  $> 110$  V. Para simplificar, dos tipos principales de EE (bajo y alto) se utilizan a menudo en la mayoría de la literatura con una definición clara del voltaje.

Recientemente, la EE se utiliza a menudo para otros fines además de la mejora de la calidad de la carne. En algunos mataderos, especialmente en Australia y Nueva Zelanda, la EE se aplica inmediatamente después del aturdimiento antes del sacrificio, inmediatamente después del sacrificio o durante el desollado. Cuando se aplica después del aturdimiento antes del sacrificio, tiene como objetivo garantizar la salud ocupacional (seguridad de los trabajadores) para evitar el temblor de las patas traseras cuando se desangra al animal (Adeyemi & Sazili, 2014).

La estimulación eléctrica aplicada inmediatamente después del sacrificio tiene como objetivo aumentar la eficiencia del desangrado y promover la recolección de sangre. Se ha informado que este procedimiento mejora la terneza porque la EE de bajo voltaje reduce el adenosin trifosfato (ATP) muscular, haciéndolo no disponible para la contracción muscular durante el almacenamiento en frío. Además, el agotamiento de ATP por la EE podría reducir el tiempo de

almacenamiento congelado necesario para agotar el ATP. Cuando se aplica durante el desollado, su objetivo es fortalecer la columna vertebral del animal para evitar la rotura de la médula espinal (Adeyemi & Sazili, 2014).

## Maduración de la Carne

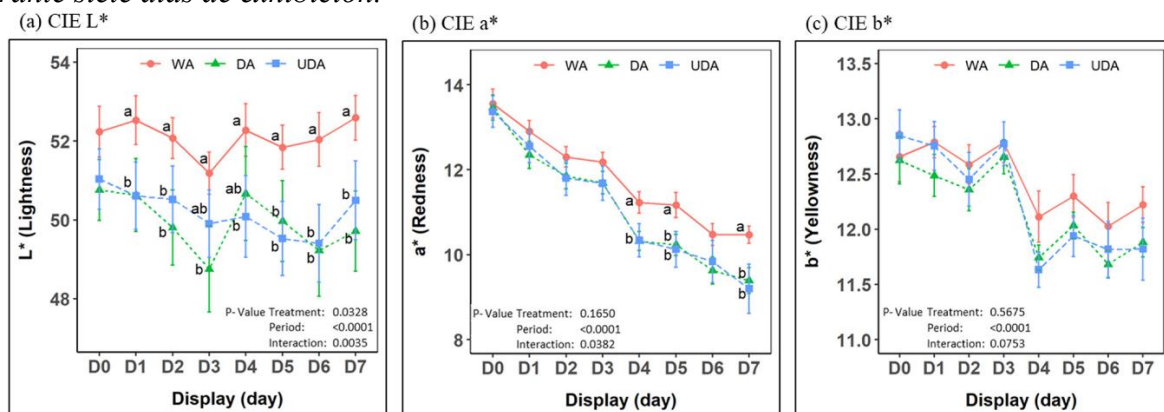
La maduración es un método que mejora los atributos sensoriales de ternura, jugosidad y sabor de la carne fresca mediante proteólisis *post mortem*. La maduración generalmente se clasifica en “al vacío” y “en seco”. Maduración en húmedo mediante envasado al vacío es el método ampliamente adoptado en la industria (Setyabrata et al., 2021).

En un estudio realizado por Setyabrata et al. (2021), se evaluó el efecto de diferentes métodos de maduración sobre la estabilidad del color de la carne de cerdo durante un período de siete días como se muestra en la figura 5.

Los autores reportaron una interacción significativa entre el tratamiento y el tiempo de exposición en la mayoría de los parámetros instrumentales de color, excepto en  $b^*$  (amarillez) y croma, los cuales se mantuvieron relativamente estables a lo largo del ensayo. De acuerdo con sus resultados, las chuletas sometidas a maduración en seco (DA) y maduración seca con luz UV (UDA) presentaron valores de luminosidad ( $L^*$ ) significativamente menores ( $p < 0,05$ ) en comparación con aquellas maduras en condiciones húmedas (WA), lo que sugiere una mayor estabilidad del color superficial en los tratamientos con menor exposición a la humedad ambiental.

### Figura 5

*Efecto de diferentes métodos de maduración en las propiedades de color del lomo de cerdo durante siete días de exhibición.*



La menor luminosidad ( $L^*$ ) en los productos madurados en seco podría estar asociada con una mayor pérdida de humedad en el producto. Una menor humedad se ha asociado con una menor disponibilidad de humedad superficial en la pieza cárnica, lo que lleva a una disminución en la reflexión de la luz y, por lo tanto, a una apariencia más oscura. Estos resultados coinciden con investigaciones previas sobre maduración en seco de carne de cerdo, las cuales reportaron que los productos madurados en húmedo presentan una luminosidad inicial más alta en comparación con los madurados en seco (Hwang et al., 2018).

De acuerdo con Richardson et al. (2018), aunque los cambios en el color y su estabilidad podrían considerarse desfavorables desde un punto de vista tecnológico, los consumidores tienden a preferir las chuletas de cerdo con tonalidades más oscuras frente a aquellas de color más claro, asociando este aspecto con una mayor jugosidad y sabor, lo que sugiere posibles beneficios de la maduración en seco durante los entornos minoristas.

## CONCLUSIONES

La calidad de la carne porcina es el resultado de una compleja interacción entre factores genéticos, ambientales, nutricionales y tecnológicos que actúan a lo largo de toda la cadena de producción. Sin embargo, lograr una carne de calidad constante sigue siendo un desafío, no tanto por falta de conocimiento, sino por las dificultades para aplicar de manera uniforme lo que ya se sabe. En muchos casos, las condiciones reales del campo, el manejo previo al sacrificio o las prácticas en planta terminan marcando la diferencia. Aunque se han documentado ampliamente los efectos de la genética, la alimentación y el manejo sobre las características de la canal y la carne, todavía se requiere una mayor integración entre los factores pre y post mortem. Entender cómo cada decisión tomada en la etapa productiva repercute en la calidad final es clave para reducir pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema. Por punto importante es la percepción del consumidor está cambiando: hoy la calidad no se mide solo por la terneza o el color, sino también por la confianza que genera el producto, el bienestar animal y el impacto ambiental del sistema de producción. Estos aspectos exigen una visión más completa del concepto de calidad, donde la sostenibilidad y la transparencia sean parte del valor del producto.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

- Adeyemi, K. D., & Sazili, A. Q. (2014). Efficacy of Carcass Electrical Stimulation in Meat Quality Enhancement: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(3), 447–456. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13463>
- Bee, G., Chevillon, P., & Bonneau, M. (2015). Entire male pig production in Europe. *Animal Production Science*, 55(12), 1347. <https://doi.org/10.1071/an15279>
- Bonneau, M., & Lebret, B. (2010). Production systems and influence on eating quality of pork. *Meat Science*, 84(2), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.013>
- Buckley, D. J., Morrissey, P. A., & Gray, J. I. (1995). Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *Journal of Animal Science*, 73(10), 3122. <https://doi.org/10.2527/1995.73103122x>



- Cannon, J. E., Morgan, J. B., Heavner, J., McKeith, F. K., Smith, G. C., & Meeker, D. L. (1995). Pork Quality Audit: A Review Of The Factors Influencing Pork Quality. *Journal of Muscle Foods*, 6(4), 369–402. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1995.tb00581.x>
- Ciobanu, D. C., Lonergan, S. M., & Huff-Lonergan, E. J. (2011). Genetics of meat quality and carcass traits. CABI EBooks, 355–389. <https://doi.org/10.1079/9781845937560.0355>
- Corino, C., Modina, S. C., Di Giancamillo, A., Chiapparini, S., & Rossi, R. (2019). Seaweeds in Pig Nutrition. *Animals*, 9(12), 1126. <https://doi.org/10.3390/ani9121126>
- de Vries, A. G., van der Wal, P. G., Long, T., Eikelenboom, G., & Merks, J. W. M. (1994). Genetic parameters of pork quality and production traits in Yorkshire populations. *Livestock Production Science*, 40(3), 277–289. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90095-7)
- Ellis, M., & McKeith, F. (2019). Nutritional influences on pork quality. National Pork Board. American Meat Science Association. Recuperado de <https://swine.extension.org/nutritional-influences-on-pork-quality/>
- Fàbrega, E., Manteca, X., Font, J., Gispert, M., Carrión, D., Velarde, A., Ruiz-de-la-Torre, J. L., & Diestre, A. (2002). Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *Meat Science*, 62(4), 463–472. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00040-2](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00040-2)
- Faucitano, L. (2018). Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. *Journal of Animal Science*, 96(2), 728–738. <https://doi.org/10.1093/jas/skx064>
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R. T., Scarborough, P., Springmann, M., & Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399). <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- Hwang, Y.-H., Sabikun, N., Ismail, I., & Joo, S.-T. (2018). Comparison of Meat Quality Characteristics of Wet- and Dry-aging Pork Belly and Shoulder Blade. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(5), 950–958. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.e27>
- 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>
- Kim, S. W., Gormley, A., Jang, K. B., & Duarte, M. E. (2023). Current status of global pig production: an overview and research trends. *Animal Bioscience*, 37(4), 719–729. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0367>
- Lebret, B. (2008). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2(10), 1548–1558. <https://doi.org/10.1017/s1751731108002796>

- 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>
- Lefaucheur, L., & Lebret, B. (2020). The rearing system modulates biochemical and histological differences in loin and ham muscles between Basque and Large White pigs. *Animal*, 14(9), 1976–1986. <https://doi.org/10.1017/s175173112000066x>
- Mote, B. E., & Rothschild, M. F. (2020). Chapter 14 – Modern genetic and genomic improvement of the pig. En F. W. Bazer, G. C. Lamb, y G. Wu (Eds.), *Animal Agriculture Sustainability, Challenges and Innovations* (pp. 249–262). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00014-8>
- Murphy, M. M., Spungen, J. H., Bi, X., & Barra, L. M. (2011). Fresh and fresh lean pork are substantial sources of key nutrients when these products are consumed by adults in the United States. *Nutrition Research*, 31(10), 776–783. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.09.006>
- Ngapo, T. M., & Gariépy, C. (2008). Factors Affecting the Eating Quality of Pork. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(7), 599–633. <https://doi.org/10.1080/10408390701558126>
- Olsson, V., & Pickova, J. (2005). The Influence of Production Systems on Meat Quality, with Emphasis on Pork. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 34(4), 338–343. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.4.338>
- Pandey, S., Kim, S., Kim, E. S., Keum, G. B., Doo, H., Kwak, J., Ryu, S., Choi, Y., Kang, J., Kim, H., Chae, Y., Seol, K.-H., Kang, S. M., Kim, Y., Seong, P. N., Bae, I.-S., Cho, S.-H., Jung, S., & Kim, H. B. (2024). Exploring the multifaceted factors affecting pork meat quality. *Journal of Animal Science and Technology*, 66(5), 863–875. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e56>
- Pauly, C., Luginbühl, W., Ampuero, S., & Bee, G. (2012). Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted — Results of a meta-analysis study. *Meat Science*, 92(4), 858–862. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.007>
- Richardson, E. L., Fields, B., Dilger, A. C., & Boler, D. D. (2018). The effects of ultimate pH and color on sensory traits of pork loin chops cooked to a medium-rare degree of doneness. *Journal of Animal Science*, 96(9), 3768–3776. <https://doi.org/10.1093/jas/sky258>
- Rosenvold, K., & Andersen, H. J. (2003). Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Science*, 64(3), 219–237. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00186-9](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00186-9)
- Rosenvold, K., Lærke, H. N., Jensen, S. K., Karlsson, A. H., Lundström, K., & Andersen, H. J. (2002). Manipulation of critical quality indicators and attributes in pork through vitamin E





- supplementation, muscle glycogen reducing finishing feeding and pre-slaughter stress. *Meat Science*, 62(4), 485–496. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00045-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00045-1)
- Setyabrata, D., Wagner, A. D., Cooper, B. R., & Kim, Y. H. B. (2021). Effect of Dry-Aging on Quality and Palatability Attributes and Flavor-Related Metabolites of Pork Loins. *Foods*, 10(10), 2503. <https://doi.org/10.3390/foods10102503>
- Terlouw, E. M. C., & Rybarczyk, P. (2008). Explaining and predicting differences in meat quality through stress reactions at slaughter: The case of Large White and Duroc pigs. *Meat Science*, 79(4), 795–805. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.013>
- Terlouw, E. M. C., Picard, B., Deiss, V., Berri, C., Hocquette, J.-F., Lebret, B., Lefèvre, F., Hamill, R., & Gagaoua, M. (2021). Understanding the Determination of Meat Quality Using Biochemical Characteristics of the Muscle: Stress at Slaughter and Other Missing Keys. *Foods*, 10(1), 84. <https://doi.org/10.3390/foods10010084>
- Trefan, L., Doeschl-Wilson, A. B., Rooke, J. A., Terlouw, C., & Bünger, L. (2013). Meta-analysis of effects of gender in combination with carcass weight and breed on pork quality1. *Journal of Animal Science*, 91(3), 1480–1492. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5200>
- Wang, R., Liu, H., Zhao, B., & Mao, Y. (2024). Avances en los factores formativos y las estrategias de regulación nutricional de la carne de cerdo PSE. *Ciencia y Tecnología de la Industria Alimentaria*, 45(8), 342–349. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040095>
- Warnants, N., Van Oeckel, M. J., & Boucqué, Ch. V. (1998). Effect of incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork backfat on the quality of salami. *Meat Science*, 49(4), 435–445. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00011-4](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00011-4)
- Warner, R. D., Dunshea, F. R., & Channon, H. A. (2018). Producing consistent quality meat from the modern pig. *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science*, 81–118. <https://doi.org/10.19103/as.2017.0030.05>
- Wilborn, B. S., Kerth, C. R., Owsley, W. F., Jones, W. R., & Frobish, L. T. (2004). Improving pork quality by feeding supranutritional concentrations of vitamin D31. *Journal of Animal Science*, 82(1), 218–224. <https://doi.org/10.2527/2004.821218x>
- Wood, J. D., & Enser, M. (1997). Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78(1), S49–S60. <https://doi.org/10.1079/bjn19970134>
- Xia, Y., Li, Y., Shen, X., Massami Mizu, Furuta, T., & Li, C. (2017). Effect of dietary supplementation with sugar cane extract on meat quality and oxidative stability in finishing pigs. *Animal Nutrition*, 3(3), 295–299. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.05.002>
- Zhang, W. H., Peng, Z. Q., Zhou, G. H., Xu, X. L., & Wu, J. Q. (2007). Effects of low voltage electrical stimulation and chilling methods on quality traits of pork *M. longissimus*



lumborum. Journal of Muscle Foods, 18(1), 109–119. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2007.00070.x>

Zmudzińska, A., Bigorowski, B., Banaszak, M., Roślewska, A., Adamski, M., & Hejdysz, M. (2020). The Effect of Diet Based on Legume Seeds and Rapeseed Meal on Pig Performance and Meat Quality. *Animals*, 10(6), 1084. <https://doi.org/10.3390/ani10061084>