

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE CHÍA (*Salvia hispánica* L.) SOBRE EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y PARÁMETROS DE CALIDAD DE
CARNE DE CERDOS PRODUCIDOS AL AIRE LIBRE**

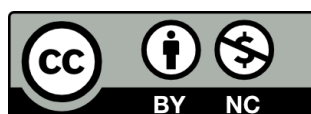
por

Guillermo OCAMPO CHUMILLO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO
URUGUAY
2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**".



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Mag.) Ana Vodanovich

Director/a:

Ing. Agr. (Mag.) Nandy Espino

Co-Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Cecilia Carballo

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Ana Vodanovich

Ing. Agr. (Dra.) Andrea Álvarez Oxiley

Ing. Agr. Ayrton Da Silva Fernandez

Fecha:

18 de setiembre de 2026

Estudiante:

Guillermo Ocampo Chumillo

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera, hicieron posible la realización de este trabajo.

En primer lugar, agradezco a mis directoras y docentes, por su orientación y disposición durante el desarrollo de esta tesis.

A mi familia, por el apoyo incondicional, por acompañarme todos estos años, incluso a la distancia.

A Sofía y a nuestras mascotas, por su constante apoyo, por darme fuerzas cuando el horizonte parecía estar lejos y compartir conmigo la alegría cuando finalmente llegamos. Los amo.

A mis amigos y compañeros de carrera, por compartir este recorrido, por las horas de estudio, las experiencias, las dificultades y también los buenos momentos. Los disgustos no fueron tantos gracias a ellos, y las alegrías fueron aún mayores.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, aunque no sean mencionadas individualmente, realizaron algún aporte para que pudiera llegar a este punto. Cada palabra de apoyo, consejo, ayuda o gesto de confianza fue importante para completar este proceso.

A todos ustedes, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURA	7
RESUMEN	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
2.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PORCINA EN URUGUAY	12
2.3. LA RAZA PAMPA ROCHA EN EL CONTEXTO PRODUCTIVO NACIONAL	14
2.4. HACIA UNA PRODUCCIÓN PORCINA DIFERENCIADA Y SUSTENTABLE	15
2.5. CONCEPTO Y PRINCIPALES PARÁMETROS DE CALIDAD DE CARNE	15
2.5.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad	16
2.5.2. Oxidación de lípidos	17
2.6. ALIMENTACIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE PORCINA	18
2.6.1. La chía en la dieta de cerdos	20
3. HIPÓTESIS	22
4. OBJETIVOS	23
4.1. OBJETIVO GENERAL	23
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
5. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1. ANIMALES Y ALOJAMIENTO	24
5.2. MANEJO	24
5.3. ALIMENTACIÓN	25
5.4. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS	27
5.5. DETERMINACIONES	27
5.5.1.1. Ganancia media diaria	27
5.5.1.2. Eficiencia de conversión	28
5.5.2. Parámetros de Calidad	28
5.5.2.1. pH	28
5.5.2.2. Color	28
5.5.2.3. <i>Drip loss</i>	28
5.5.2.4. Oxidación lipídica	29
5.5.3. Estadística	29
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1. PARÁMETROS PRODUCTIVOS	31

6.2.	PARÁMETROS DE CALIDAD	32
6.2.1.	pH, <i>Drip loss</i> y color	32
6.2.2.	Oxidación de lípidos	36
7.	CONCLUSIÓN	40
8.	BIBLIOGRAFÍA	42

LISTA DE TABLAS Y FIGURA

Tabla No.

Tabla 1 *Composición química de las dietas experimentales*

.....26

Tabla 2 *Ganancia Media Diaria y Eficiencia de Conversión Según Nivel de Inclusión de Chía*

.....31

Tabla 3 *Parámetros fisicoquímicos del músculo Longissimus dorsi según inclusión de chíá y estado de conservación*

.....33

Figura No.

Figura 1 *TBARS del Longissimus dorsi de cerdos Pampa Rocha según inclusión de chíá y conservación*

.....37

RESUMEN

La producción porcina en sistemas al aire libre constituye una alternativa de interés para la obtención de productos diferenciados, particularmente cuando se emplean razas locales adaptadas a las condiciones productivas. En este contexto, la alimentación representa una herramienta para modificar el desempeño productivo y contribuir al mantenimiento de la calidad de la carne. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de chía (*Salvia hispanica* L.) en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha producidos en un sistema al aire libre con pasturas sobre los parámetros productivos y la calidad de la carne fresca y conservada. Se utilizaron 24 cerdos Pampa Rocha (12 machos castrados y 12 hembras), distribuidos en tres tratamientos: una dieta control sin chía y dos dietas con 5 % y 10 % de inclusión de chía. Los animales fueron criados en un sistema pastoril con acceso a pasturas y suplementados con ración durante el período experimental. Se evaluaron la ganancia media diaria, la eficiencia de conversión y distintos parámetros de calidad de carne en el músculo *Longissimus dorsi*, incluyendo pH, color, pérdida por goteo (*drip loss*) y oxidación lipídica. Los resultados no evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para la ganancia media diaria, la eficiencia de conversión ni para los parámetros fisicoquímicos de calidad de la carne evaluados. Asimismo, la inclusión de chía no modificó significativamente la oxidación lipídica en las condiciones experimentales del estudio. En cambio, el proceso de conservación incrementó la oxidación de los lípidos respecto a las muestras frescas. En conclusión, la inclusión de hasta un 10 % de chía en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha criados sobre pasturas no afectó el desempeño productivo ni los atributos de calidad de la carne evaluados. El efecto observado de la conservación sobre la oxidación lipídica sugiere la conveniencia de profundizar la investigación mediante diferentes niveles de inclusión de chía y estrategias de alimentación que permitan evaluar su potencial sobre la estabilidad oxidativa de la carne.

Palabras clave: chía, cerdos Pampa Rocha, calidad de carne, oxidación lipídica, sistema de producción al aire libre

SUMMARY

Pig production in outdoor systems represents an alternative of interest for obtaining differentiated products, particularly when local breeds adapted to production conditions are used. In this context, nutrition represents a tool for modifying productive performance and contributing to the maintenance of meat quality. The objective of this study was to evaluate the effect of dietary chia (*Salvia hispanica* L.) inclusion during the finishing phase of Pampa Rocha pigs reared in an outdoor pasture-based production system on productive performance and the quality of fresh and preserved pork. A total of 24 Pampa Rocha pigs (12 castrated males and 12 females) were assigned to three dietary treatments: a control diet without chia and two diets containing 5% and 10% chia inclusion. Animals were raised under a pasture-based system with free access to pasture and supplemented with concentrate throughout the experimental period. Productive performance was assessed through average daily gain and feed conversion efficiency. Meat quality was evaluated in the *Longissimus dorsi* muscle by measuring pH, color, *drip loss*, and lipid oxidation. No significant differences among treatments were observed for average daily gain, feed conversion efficiency, or the physicochemical meat quality parameters evaluated. Likewise, dietary chia inclusion did not significantly affect lipid oxidation under the experimental conditions of this study. However, the preservation process increased lipid oxidation compared with fresh meat samples. In conclusion, the inclusion of up to 10% chia in finishing diets for pasture-raised Pampa Rocha pigs did not affect productive performance or the evaluated meat quality attributes. The effect of the preservation process on lipid oxidation highlights the need for further research using different levels of chia inclusion and feeding strategies to better assess its potential to improve the oxidative stability of pork.

Keywords: chia, Pampa Rocha pigs, meat quality, lipid oxidation, outdoor production system

1. INTRODUCCIÓN

La producción porcina constituye una de las principales actividades destinadas a la generación de proteína de origen animal a nivel mundial, presentando una creciente relevancia dentro de los sistemas agroalimentarios (United States Department of Agriculture [USDA], 2024). En este contexto, además del incremento en la demanda de carne de cerdo, en los últimos años se ha observado un cambio en las preferencias de los consumidores, quienes no sólo consideran aspectos relacionados con la inocuidad y calidad del producto, sino también atributos vinculados al valor nutricional, bienestar animal y sostenibilidad de los sistemas de producción (Lebret & Čandek-Potokar, 2022).

La calidad de la carne representa actualmente un aspecto determinante para la diferenciación de productos de origen animal. En este contexto, atributos como el color, el pH, la capacidad de retención de agua y la estabilidad oxidativa han adquirido especial relevancia, debido a su influencia sobre la vida útil del producto y la aceptación por parte de los consumidores. En este sentido, la implementación de estrategias nutricionales constituye una herramienta de interés para mejorar estos atributos de calidad y generar productos con características diferenciadas (Carballo, 2022).

La alimentación animal desempeña un papel fundamental en la determinación de las características finales de la carne (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). La incorporación de ingredientes con compuestos bioactivos de interés nutricional ha sido estudiada como una estrategia para generar productos diferenciados y modificar atributos asociados a la calidad de la carne (Jamshidi et al., 2019; Scollan et al., 2017). Entre estas alternativas, la chía (*Salvia hispanica* L.) se destaca por su elevado contenido de ácido alfa-linolénico (ALA), compuestos antioxidantes y otros componentes de interés, lo que ha motivado su estudio en alimentación animal, particularmente en relación con sus posibles efectos sobre características productivas y de calidad del producto final (Coates & Ayerza, 2009; Jamshidi et al., 2019).

En Uruguay, la producción porcina presenta una marcada heterogeneidad, coexistiendo sistemas intensivos con alternativas productivas basadas en el uso de recursos naturales (Gorga & Segovia, 2025). Dentro de estos sistemas, la producción al

aire libre con utilización de pasturas representa una alternativa asociada al bienestar animal, la sostenibilidad y la generación de productos diferenciados (Carballo Sánchez et al., 2021). En este marco, el cerdo Pampa Rocha constituye un recurso genético local adaptado a condiciones de producción extensivas o semi-extensivas, destacándose por su rusticidad y capacidad de adaptación al pastoreo (Carballo, 2022).

La combinación entre recursos genéticos locales, sistemas productivos alternativos y estrategias nutricionales orientadas a mejorar atributos de calidad constituye una oportunidad para agregar valor a la carne porcina nacional. Sin embargo, existe escasa información respecto al efecto de la incorporación de chía en dietas de terminación de cerdos Pampa Rocha producidos bajo sistemas al aire libre con pasturas sobre parámetros productivos y características de calidad de carne.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de chía (*Salvia hispanica L.*) en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha producidos en un sistema al aire libre con pasturas, sobre parámetros productivos, atributos fisicoquímicos y estabilidad oxidativa de la carne fresca y conservada.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSUMO DE CARNE DE CERDO

La carne ha sido históricamente un componente central de la alimentación humana, debido a su elevado valor nutricional y a su aporte de nutrientes esenciales para el crecimiento, el mantenimiento de funciones fisiológicas y la salud en general (Pereira & Vicente, 2013). En términos nutricionales, la carne constituye una fuente relevante de proteínas de alto valor biológico, aminoácidos esenciales, vitaminas del complejo B (particularmente B12) y minerales como hierro, zinc y fósforo, cuya biodisponibilidad suele ser superior a la de fuentes de origen vegetal (Pereira & Vicente, 2013). En este sentido, la inclusión de carne en la dieta contribuye a cubrir requerimientos nutricionales clave en distintas etapas del ciclo de vida, especialmente en poblaciones con mayores demandas fisiológicas, lo que explica su presencia sostenida en los patrones alimentarios de numerosas culturas a lo largo del tiempo.

El consumo per cápita de carne porcina en Uruguay ha mostrado un crecimiento sostenido durante la última década, alcanzando los 23,2 kg/hab/año en 2025 (Instituto Nacional de Carnes [INAC], 2026). Paralelamente, el abastecimiento del mercado interno continúa dependiendo mayoritariamente de carne importada, cuyo volumen se incrementó nuevamente luego de la disminución registrada en 2021 (Gorga & Segovia, 2025). Este escenario plantea desafíos para la producción porcina nacional en términos de competitividad y, al mismo tiempo, genera oportunidades para el desarrollo de estrategias de diferenciación que permitan agregar valor al producto nacional. Entre estas alternativas, la valorización de atributos vinculados al sistema de producción y a la calidad de la carne puede constituir una herramienta de interés para determinados segmentos del mercado.

2.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PORCINA EN URUGUAY

En Uruguay, la producción porcina se desarrolla bajo una diversidad de sistemas, que van desde modelos intensivos tecnificados con alojamientos totalmente confinados hasta esquemas extensivos donde la presencia de la pastura es una

alternativa para complementar la alimentación. Los sistemas intensivos, si bien permiten un control más estricto de los factores ambientales, sanitarios y reproductivos, requieren una alta inversión en infraestructura y alimentación concentrada (Carballo Sánchez et al., 2021; González & Bauzá, 2009; Maes et al., 2020). En contraste, los sistemas de producción al aire libre han sido adoptados como una estrategia viable, especialmente en unidades de escala familiar, debido a su menor requerimiento de inversión inicial y su compatibilidad con sistemas productivos de pequeña escala vinculados al entorno rural (Bell, 2014; Carballo Sánchez et al., 2021).

De acuerdo con la Encuesta porcina 2023, la producción a campo continúa siendo el sistema predominante, utilizado por el 66 % de las explotaciones comerciales, mientras que los sistemas confinados representan el 26 %, evidenciando la importancia que mantienen los sistemas con acceso al exterior dentro de la producción porcina nacional (L. Gorga, comunicación personal, 21 de enero, 2026). En perspectiva histórica, la Encuesta Porcina 2006 ya mostraba una importante participación de los sistemas a campo, que representaban el 44 % de las explotaciones comerciales, mientras que los sistemas confinados comprendían únicamente el 7 %, lo que evidencia un incremento de la producción a campo como sistema predominante en las explotaciones comerciales uruguayas (Arenare et al., 2007).

Entre las principales características de los sistemas al aire libre se destaca el aprovechamiento de recursos forrajeros, que puede contribuir a reducir la dependencia de alimentos concentrados, especialmente en sistemas de pequeña escala. Asimismo, este modelo productivo puede resultar compatible con estrategias orientadas al bienestar animal y con la integración de la producción porcina en sistemas familiares (Carballo Sánchez et al., 2021).

En los últimos años, el interés por sistemas de producción pecuaria que integren criterios de bienestar animal y sustentabilidad ambiental ha cobrado creciente relevancia, tanto a nivel académico como en la percepción social de los sistemas productivos (Grunert et al., 2014). En este sentido, los sistemas al aire libre o extensivos en porcinos se asocian a una mayor posibilidad de expresión de comportamientos naturales, menores niveles de estrés y mejores condiciones de confort en comparación con sistemas confinados (Pietrosemoli & Tang, 2020).

Estas características productivas se vinculan con transformaciones recientes en las preferencias de los consumidores, quienes manifiestan una creciente valoración por alimentos obtenidos bajo sistemas percibidos como más “naturales”, sostenibles y respetuosos del bienestar animal (de Jonge & van Trijp, 2013; Grunert et al., 2014). Este enfoque resulta particularmente pertinente en el caso de razas locales adaptadas a condiciones extensivas, como la raza Pampa Rocha, cuya inserción en sistemas pastoriles se alinea con estos atributos valorados emergentemente por determinados segmentos de consumidores (Grunert et al., 2014).

2.3. LA RAZA PAMPA ROCHA EN EL CONTEXTO PRODUCTIVO NACIONAL

La raza porcina Pampa Rocha, raza criolla de Uruguay, constituye un ejemplo emblemático de adaptación local. Su formación se remonta aproximadamente a comienzos del siglo XX y se relaciona con el mestizaje, en el departamento de Rocha, de poblaciones porcinas locales con animales de las razas Poland China y Berkshire. Su reproducción durante un período prolongado en sistemas extensivos y con escasa intervención humana favoreció un proceso de selección natural y la consolidación de características de rusticidad y adaptación al ecosistema de origen (Carballo Sánchez et al., 2021; Vadell, 2005). Posteriormente, se evaluó el cruzamiento de animales Pampa Rocha con la raza Duroc como una estrategia orientada a mejorar su comportamiento productivo en condiciones pastoriles (Vadell, 2005).

Una de las cualidades más notables de esta raza es su capacidad para alimentarse predominantemente mediante pastoreo, lo que la convierte en una alternativa especialmente adecuada para los sistemas de producción al aire libre. Su rusticidad, eficiencia en el aprovechamiento de recursos forrajeros y capacidad de adaptación han sido valoradas por los productores, lo que ha contribuido a su permanencia como población local de interés (Carballo Sánchez et al., 2021).

Asimismo, la raza Pampa Rocha presenta atributos comportamentales y reproductivos positivos para este tipo de sistema. Las hembras destacan por su docilidad, buen comportamiento maternal y adecuada producción de leche, lo que favorece el cuidado de las crías. Sin embargo, una de las principales limitantes desde el

punto de vista comercial, es el excesivo engrasamiento al alcanzar el peso de faena. Para mitigar esta limitante, se ha sugerido la implementación de cruzamientos dirigidos a mejorar parámetros productivos como la ganancia media diaria (GMD) y la eficiencia de conversión (EC), así como variables reproductivas como el número de lechones por camada (Carballo Sánchez et al., 2021).

2.4. HACIA UNA PRODUCCIÓN PORCINA DIFERENCIADA Y SUSTENTABLE

La complementariedad entre las características de la raza Pampa Rocha y el sistema de producción al aire libre favorece su utilización en modelos productivos adaptados a las condiciones del medio rural uruguayo y contribuye a la valorización de este recurso genético local (Carballo, 2022; Carballo Sánchez et al., 2021). A su vez, la diferenciación de productos vinculados al sistema de producción, el origen y otros atributos de calidad puede representar una oportunidad en determinados segmentos de mercado (Pugliese et al., 2023).

2.5. CONCEPTO Y PRINCIPALES PARÁMETROS DE CALIDAD DE CARNE

La calidad de la carne porcina es un concepto amplio, que depende de la perspectiva del productor, la industria y el consumidor. Para los ganaderos, la calidad está vinculada al rendimiento de la canal, la eficiencia productiva y factores asociados a la genética, alimentación y manejo pre y post mortem, los cuales determinan parámetros como el pH y la grasa intramuscular (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). En el caso de la industria cárnica, los atributos tecnológicos como la capacidad de retención de agua (CRA), la estabilidad del color, la textura y la estabilidad oxidativa son esenciales para garantizar la conservación, el procesamiento y la vida útil del producto (Song et al., 2020). Desde la perspectiva del consumidor, la calidad se centra en atributos sensoriales como el sabor, la jugosidad, la terneza y el aspecto visual, los cuales determinan la aceptación del producto en el mercado (Millán & Retamosa, 2025).

La calidad de la carne resulta de la interacción de numerosos factores, entre los que se destacan la genética, la alimentación, el sistema de producción, las condiciones de manejo pre y post faena y los procesos de conservación. Estos factores determinan tanto las propiedades nutricionales y sensoriales del producto final. En este contexto, la evaluación objetiva de la calidad se basa en un conjunto de parámetros fisicoquímicos

que permiten caracterizar la carne y estimar su aptitud para el procesamiento, el almacenamiento y el consumo. Asimismo, la estabilidad oxidativa constituye un atributo de gran importancia, ya que influye en la conservación del producto, su vida útil y el mantenimiento de sus características de calidad sobre todo durante el almacenamiento (Lebret & Čandek-Potokar, 2022; Song et al., 2020).

2.5.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad

Los parámetros fisicoquímicos constituyen herramientas fundamentales para evaluar la calidad de la carne porcina, ya que reflejan los cambios bioquímicos ocurridos durante la transformación del músculo en carne y permiten estimar su comportamiento tecnológico, su estabilidad durante el almacenamiento y su aceptación por parte del consumidor. Entre los principales indicadores se destacan el pH post mortem, el color, la capacidad de retención de agua y la grasa intramuscular, los cuales se encuentran estrechamente relacionados entre sí (Lebret & Čandek-Potokar, 2022).

Uno de los parámetros tecnológicos de mayor importancia es el pH post mortem, debido a su influencia directa sobre la capacidad de retención de agua, la estabilidad proteica y la susceptibilidad al deterioro microbiológico. Alteraciones en este indicador pueden originar defectos de calidad como las carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas) o DFD (oscuras, firmes y secas), reduciendo el valor comercial y dificultando el procesamiento industrial (Lebret & Čandek-Potokar, 2022).

El color constituye otro atributo de gran relevancia, ya que representa uno de los primeros criterios utilizados por el consumidor para evaluar la calidad de la carne. Este parámetro depende principalmente del estado químico de la mioglobina (Lebret & Čandek-Potokar, 2022) y puede determinarse mediante sistemas instrumentales basados en las coordenadas L*, a* y b* (Teixeira et al., 2021), ampliamente utilizados para caracterizar objetivamente la apariencia del producto.

La capacidad de retención de agua influye directamente sobre el rendimiento industrial, las pérdidas por goteo durante el almacenamiento y la jugosidad percibida por el consumidor. Una menor retención de agua incrementa las pérdidas de peso y afecta negativamente la calidad comercial de la carne, razón por la cual constituye uno de los principales parámetros tecnológicos evaluados en estudios de calidad (Lebret & Čandek-Potokar, 2022).

Por su parte, la grasa intramuscular, conocida comúnmente como marmoleado, ejerce una influencia positiva sobre la terneza, la jugosidad y el sabor de la carne (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). Además, la estabilidad oxidativa de la fracción lipídica constituye un atributo de calidad relevante, ya que la presencia de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) aumenta la susceptibilidad a la oxidación, pudiendo afectar la vida útil y las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne durante el almacenamiento (Millán & Retamosa, 2025; Song et al., 2020).

2.5.2. Oxidación de lípidos

Los procesos oxidativos en productos cárnicos pueden iniciarse ya en la fase de producción y extenderse hasta el consumo, constituyendo, después del deterioro microbiológico, una de las principales causas de deterioro de la calidad de la carne y sus derivados (Chaijan & Panpipat, 2017; Jiang & Xiong, 2016). Estos procesos generan alteraciones en los atributos organolépticos, nutricionales y tecnológicos, además de reducir la vida útil del producto.

La susceptibilidad de la carne a la oxidación se explica por su compleja composición química, en particular por la presencia de AGPI, cuyos dobles enlaces son altamente reactivos frente al oxígeno, y por componentes del tejido muscular como el hierro y la mioglobina, que actúan como catalizadores de reacciones oxidativas (Chaijan & Panpipat, 2017; Jiang & Xiong, 2016).

Los lípidos de la carne son químicamente inestables y se oxidan con facilidad durante la manipulación, el almacenamiento post mortem y la cocción, dando lugar a productos secundarios que pueden afectar negativamente la calidad del producto, provocando rancidez, cambios de color, pérdida de valor nutricional y reducción de la vida útil (Graciano Cristobal et al., 2022; Ramírez-Rojo et al., 2019). La velocidad y magnitud de este proceso están influenciadas por factores como el tipo y grado de insaturación de los ácidos grasos, el tipo de tejido, la especie (Jiang & Xiong, 2016), las condiciones de almacenamiento (tiempo y temperatura) y la exposición a luz, calor y oxígeno, así como por la presencia de compuestos prooxidantes y antioxidantes (Ahmad et al., 2023; Wang et al., 2023).

Desde el punto de vista químico, la oxidación lipídica se desarrolla a través de una secuencia de reacciones en cadena que comprenden tres etapas: iniciación,

propagación y terminación. El proceso comienza con la formación de radicales libres, que reaccionan con el oxígeno generando productos primarios, como los hidroperóxidos, y productos secundarios, entre los que se destacan aldehídos como el malondialdehído (MDA) (Amaral et al., 2018). Estos compuestos son responsables de cambios adversos en el olor, color, sabor y textura de la carne, además de afectar la capacidad de retención de agua, reduciendo su valor nutricional (Ahmad et al., 2023).

Como consecuencia de este proceso, la rancidez oxidativa provoca un deterioro significativo de la calidad sensorial y del valor nutricional de la carne, además de favorecer la formación de compuestos de oxidación potencialmente nocivos para la salud humana (Domínguez et al., 2019). En este sentido, el MDA es uno de los principales marcadores de la oxidación lipídica secundaria, incluso en concentraciones bajas, debido a su contribución al desarrollo de aromas rancios. Su cuantificación se realiza comúnmente mediante el ensayo del ácido tiobarbitúrico (TBA), que determina las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) como indicador del grado de oxidación lipídica (Domínguez et al., 2019).

La oxidación lipídica no solo afecta a la carne fresca, sino que continúa desarrollándose durante el almacenamiento y conservación de productos cárnicos. En productos refrigerados o procesados, la exposición prolongada al oxígeno y las condiciones de almacenamiento favorecen la formación de compuestos secundarios de oxidación (Amaral et al., 2018; Wang et al., 2023). En carne de cerdo refrigerada, Graciano Cristobal et al. (2022) reportaron que la estabilidad oxidativa se modifica significativamente durante el almacenamiento, lo que pone de manifiesto la importancia de evaluar la estabilidad oxidativa durante el almacenamiento cuando se estudian estrategias destinadas a mejorar la calidad de la carne.

2.6. ALIMENTACIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE PORCINA

La alimentación constituye uno de los principales factores que contribuyen a determinar el desempeño productivo y la calidad de la carne porcina, dado que influye directamente sobre el crecimiento, la eficiencia productiva y la calidad final de la carne (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). En este sentido, la formulación de dietas balanceadas en términos de energía metabolizable, proteína y aminoácidos esenciales resulta clave

para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales y sostener un adecuado desempeño productivo.

Los enfoques actuales en nutrición porcina no se limitan a maximizar el crecimiento, sino que también buscan mejorar la utilización de los nutrientes y reducir las pérdidas asociadas al proceso productivo, contribuyendo a sistemas más eficientes y sostenibles (Maher et al., 2025). Más allá de sus efectos sobre el desempeño productivo, la dieta influye sobre diversos parámetros de calidad de la carne, tales como el pH, el color y la estabilidad oxidativa (Lebret & Čandek-Potokar, 2022), siendo la estabilidad oxidativa uno de los atributos más relevantes para la conservación de la calidad durante el almacenamiento (Zhang et al., 2024).

En sistemas extensivos o al aire libre, la alimentación presenta características particulares asociadas a una mayor variabilidad en el consumo y a la interacción del animal con los recursos forrajeros disponibles. En estos sistemas, el manejo nutricional debe contemplar tanto el aporte del alimento balanceado como la contribución de las pasturas al consumo total de nutrientes, lo que exige un enfoque flexible en la formulación de las dietas. La bibliografía indica que una adecuada planificación de la alimentación en sistemas pastoriles permite sostener niveles aceptables de desempeño productivo, siempre que se asegure el aporte de nutrientes críticos mediante la suplementación (Carballo, 2022).

La susceptibilidad del tejido muscular a la oxidación lipídica depende en gran medida de la composición de la dieta y de su contenido en ingredientes con actividad antioxidante, ya que estos pueden modular el estatus oxidativo del animal (Calvo et al., 2017) y, por extensión, la estabilidad oxidativa de la carne. En este sentido, Muzolf-Panek et al. (2024) demostraron que la suplementación dietaria con extractos fenólicos vegetales en cerdos de terminación mejoró la estabilidad oxidativa de los lípidos durante el almacenamiento de la carne, evidenciando que determinadas estrategias de suplementación antioxidante pueden modificar el estado antioxidante del tejido muscular y contribuir a limitar la oxidación lipídica durante el almacenamiento.

Por otro lado, la estabilidad oxidativa de la carne también está condicionada por el sistema de producción. En sistemas al aire libre con acceso a pasturas, los animales se ven expuestos a mayores niveles de actividad física y a una mayor

variabilidad en la composición de la dieta, factores que pueden influir sobre el estatus antioxidante endógeno y, en consecuencia, sobre la estabilidad oxidativa de la carne (Muzolf-Panek et al., 2024). En este sentido, la incorporación de fuentes vegetales ricas en compuestos fenólicos, durante la fase de terminación de cerdos Pampa Rocha producidos bajo este sistema, podría contribuir a mejorar la estabilidad oxidativa de la carne y preservar sus atributos de calidad durante el almacenamiento, representando una estrategia de valor agregado desde el punto de vista tecnológico.

Entre los ingredientes evaluados con este propósito, la chía ha despertado un creciente interés en parte por su elevado contenido de ácidos grasos omega-3 pero también por su contenido y composición en compuestos antioxidantes.

2.6.1. La chía en la dieta de cerdos

En el contexto de sistemas de producción sustentables, la chía, grano originario de Mesoamérica, ha despertado un creciente interés en nutrición animal debido a su composición nutricional, destacándose por su elevado contenido de ALA, proteínas, fibra dietética y compuestos antioxidantes (Jamshidi et al., 2019). Entre estos últimos, se destacan compuestos fenólicos como ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido rosmarínico, quercetina, miricetina y kaempferol, caracterizados por Pellegrini et al. (2018) como los principales responsables de la elevada capacidad antioxidante de la semilla. Fernández-López et al. (2020) señalaron que tanto la semilla entera como sus fracciones presentan potencial antioxidante aplicable a productos cárnicos, con capacidad para retardar la oxidación lipídica durante el almacenamiento. La presencia de estos compuestos adquiere especial relevancia porque podría contrarrestar el potencial prooxidante asociado al mayor aporte de AGPI, favoreciendo la estabilidad oxidativa de la carne, aspecto que fue sugerido por Terevinto et al. (2023) para explicar la ausencia de incremento en los valores de TBARS en aves suplementadas con chía.

La chía ha sido ampliamente evaluada en nutrición animal, con resultados que muestran que su inclusión en la dieta no compromete el rendimiento productivo y puede influir sobre distintos atributos de calidad de los productos animales. En cuyes, por ejemplo, la suplementación con un 15% de chía redujo significativamente la grasa intraabdominal y aumentó el contenido de omega-3 en la carne (Arias Quispe, 2019; Castro Labanda & Matute Palacios, 2023). En cerdos, Coates y Ayerza (2009)

evaluaron dietas con hasta un 20% de inclusión, observando que la suplementación no afectó negativamente el crecimiento ni los parámetros productivos de los animales. Estos resultados sugieren que la incorporación de chía constituye una estrategia nutricional viable, cuyo potencial sobre diferentes atributos de calidad de la carne continúa siendo objeto de investigación.

Estos antecedentes respaldan el interés en estudiar el efecto de la chía en la alimentación del cerdo Pampa Rocha, raza criolla uruguaya criada en sistemas al aire libre. Evaluar su impacto sobre los parámetros productivos y sobre atributos de calidad de la carne, particularmente aquellos relacionados con sus características fisicoquímicas y la estabilidad oxidativa, permitirá profundizar en el potencial de este ingrediente dentro de un modelo productivo adaptado a las condiciones locales.

En este contexto, la inclusión de chía en la alimentación de los cerdos adquiere relevancia por su potencial para mejorar atributos de calidad de la carne, especialmente aquellos asociados con la estabilidad oxidativa y la conservación del producto (Jamshidi et al., 2019). Estos aspectos resultan de interés tanto para la industria como para los consumidores, al contribuir a mantener las características de calidad durante el almacenamiento y prolongar la vida útil de los productos cárnicos.

En Uruguay, donde la carne porcina importada representa una competencia directa para los productores locales (Gorga & Segovia, 2025), avanzar en estrategias nutricionales que permitan mejorar la calidad de la carne constituye una oportunidad para generar productos diferenciados. En este sentido, el estudio de la inclusión de chía en la alimentación porcina puede aportar herramientas para fortalecer la competitividad de los sistemas productivos nacionales.

3. HIPÓTESIS

La inclusión de chía (*Salvia hispanica L.*) en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre con pasturas, mejorará los parámetros productivos (ganancia media diaria y eficiencia de conversión) y atributos de calidad de la carne fresca y conservada (pH, color, *drip loss* y estabilidad oxidativa), en comparación con una dieta sin chía.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de la inclusión de Chía (*Salvia hispanica L.*) en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre con pasturas, sobre parámetros productivos y de calidad de la carne fresca y conservada.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la inclusión de Chía en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha, producidos en sistema al aire libre con pasturas sobre la ganancia media diaria y la eficiencia de conversión.
- Determinar el efecto de la inclusión de Chía en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre con pasturas sobre la variación de los atributos fisicoquímicos en el músculo *Longissimus dorsi* en muestras frescas y conservadas, mediante la determinación del pH, color y *drip loss*.
- Determinar el efecto de la inclusión de Chía en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre con pasturas, sobre el proceso de oxidación lipídica en el músculo *Longissimus dorsi* fresco y conservado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. ANIMALES Y ALOJAMIENTO

El experimento se desarrolló en la Unidad de Producción de Cerdos de la Facultad de Agronomía, perteneciente al Centro Regional Sur. Se utilizaron 24 cerdos (12 machos castrados y 12 hembras) de raza Pampa Rocha, producidos en un sistema al aire libre de base pastoril. Todos los procedimientos fueron incluidos en un protocolo experimental aprobado por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (ID CHEA 1616, Exp. N.º 020300000012-23).

5.2. MANEJO

Los lechones fueron destetados a los 45 días de edad y, a los 90 días, se distribuyeron aleatoriamente en tres tratamientos experimentales definidos según el nivel de incorporación de chía en la dieta.

Desde el destete y hasta el inicio del ensayo, los animales fueron alimentados con una ración balanceada formulada para lechones formulada para aportar 20 % de proteína bruta (PB) y 2.769,41 kcal/kg de energía metabolizable (EM). A partir de los 90 días y hasta los 180 días de edad, además de la ración, los animales tuvieron acceso permanente a una pradera de segundo año compuesta por *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* y *Cichorium intybus*.

El diseño experimental correspondió a un diseño en bloques completamente al azar (DBCA), conformado por dos bloques de animales contemporáneos. En cada bloque se incluyeron los tres tratamientos, con cuatro animales por tratamiento, totalizando ocho por tratamiento y veinticuatro en total. Durante el período experimental, permanecieron en potreros de 1500 m², con libre acceso a pastoreo y refugios tipo parideras que ofrecían protección frente a las inclemencias climáticas. La alimentación se suministró en bateas grupales, a razón de una batea cada dos animales, y el agua estuvo disponible ad libitum mediante bebederos tipo chupete.

5.3. ALIMENTACIÓN

Las dietas experimentales fueron las siguientes:

1. **Control, dieta base sin inclusión de chía**, compuesta por: maíz (46,93%), afrechillo de arroz (15%), afrechillo de trigo (12%), salvado de arroz (9,75%), DDGS maíz (7,44%), expeller de soja (5%), carbonato de calcio (2,80%), sal (0,32%), lisina (0,42%), treonina (0,10%), sulfato de cobre (0,05%), óxido de zinc (0,01%), antioxidante y antiaglomerante (0,01%), inactivante de micotoxinas (0,05%), núcleo vitamínico mineral (0,10%) y complejo enzimático (0,01%)
2. **5% de chía, dieta base con 5% de inclusión de semillas de chía**, compuesta por los siguientes ingredientes: maíz (43,64%), afrechillo de arroz (11,00%), afrechillo de trigo (12,00%), salvado de arroz (14,20%), DDGS maíz (6,30%), expeller de soja (5,25%), carbonato de calcio (1,55%), sal (0,30%), lisina (0,42%), treonina (0,10%), sulfato de cobre (0,05%), óxido de zinc (0,01%), antioxidante y antiaglomerante 0,01, inactivante de micotoxinas (0,05%), núcleo vitamínico mineral (0,10%) y complejo enzimático (0,01%).
3. **10% de chía, dieta base con 10% de inclusión de semillas de chía**, compuesta por: maíz (52,30%), afrechillo de trigo (8,50%), salvado de arroz (16,00%), expeller de soja (8,66%), carbonato de calcio (3,00%), sal (0,45%), lisina (0,45%), treonina (0,16%), sulfato de cobre (0,05%), óxido de zinc (0,01%), fosfato bicálcico (0,20%), antioxidante y antiaglomerante (0,01%), inactivante de micotoxinas (0,05%), núcleo vitamínico mineral (0,10%) y complejo enzimático (0,01%).

Las raciones se formularon contemplando que sean isoenergéticas e isoproteicas. En la tabla 1 se presenta la composición química analizada de las raciones experimentales.

Tabla 1

Composición química de las dietas experimentales

Nutrientes	Dieta base	5% Chía	10% Chía
Humedad (%)	11,91	11,80	11,87
Proteína bruta (%)	13,30	14,11	14,00
Grasa (%)	6,00	7,00	6,88
Fibra Cruda (%)	4,52	5,72	6,20
Calcio (%)	1,10	0,75	1,30
Fósforo disponible (%)	0,34	0,33	0,30
Cenizas (%)	7,09	5,93	6,72
Lisina (%)	0,85	0,85	0,85
Metionina (%)	0,25	0,25	0,25
M+C (%)	0,49	0,49	0,48
Treonina (%)	0,58	0,58	0,58
Triptófano (%)	0,15	0,15	0,14
Energía metabolizable (Kcal)	3000	3000	3016

La oferta de concentrado fue ajustada semanalmente en función del peso vivo de los animales, considerando la fórmula de consumo máximo voluntario (CMV) que se detalla a continuación:

$$\text{CMV} = (\text{PV } 0,75 \times 110 \times 4/3200) \times 0,85$$

Se consideró una restricción del 15 % para incentivar el consumo de pastura (Jakobsen et al., 2015). Para realizar la corrección de la oferta de concentrado, los animales fueron pesados individualmente cada 15 días, asumiendo igual tasa de crecimiento diario para el período comprendido entre dos pesadas.

5.4. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Los animales presentaron un peso de faena promedio de $92,46 \pm 7,78$ kg. Luego de la faena se obtuvieron muestras del músculo *Longissimus dorsi*, seleccionado por tratarse del músculo de referencia más utilizado en estudios de calidad de carne porcina debido a su representatividad anatómica y comercial, así como por su idoneidad para la determinación de parámetros fisicoquímicos como pH, color, pérdida por goteo y estabilidad oxidativa (Li et al., 2024). Además, este músculo ha sido ampliamente empleado en investigaciones sobre cerdos Pampa Rocha y otros genotipos criados en sistemas al aire libre, permitiendo la comparación de resultados entre estudios (Carballo, 2022; Carballo et al., 2017; Vodanovich Possamai, 2022). Una parte de las muestras fue destinada a los análisis en carne fresca, mientras que otra parte fue envasada al vacío y refrigerada a 2-4 °C durante 7 días para su posterior almacenamiento y evaluación como producto conservado. Para después ser trasladadas al Laboratorio de Calidad de Alimentos y Productos de Facultad de Agronomía manteniendo la cadena de frío, donde se evaluaron distintos parámetros de calidad de carne.

5.5. DETERMINACIONES

5.5.1. Parámetros productivos

5.5.1.1. Ganancia media diaria

La ganancia media diaria (kg/día) se calculó a partir del seguimiento del peso vivo, realizado mediante pesajes aproximadamente cada 14 días, con algunas variaciones según el lote, en lugar de estimarse únicamente como un valor promedio para todo el período experimental. Para cada intervalo, la GMD se obtuvo como la diferencia entre el peso final y el peso inicial, dividida por el número de días transcurridos entre ambas mediciones.

5.5.1.2. Eficiencia de conversión

La eficiencia de conversión se expresó como la relación entre el consumo de materia seca y la ganancia de peso vivo (kg MS/kg PV), donde valores menores indican una mayor eficiencia. Fue calculada a partir de la relación entre alimento consumido y peso ganado.

5.5.2. Parámetros de Calidad

5.5.2.1. pH

Se determinó pH con un medidor de penetración Lutron (pH-201) en todas las muestras de músculo *Longissimus dorsi* fresco y conservado. Para ello, se realizó una hendidura en el tejido donde se introdujo el electrodo para tomar las mediciones, enjuagando entre muestras con agua destilada.

5.5.2.2. Color

El color fue determinado mediante el método establecido por Wyszecki (1976). Se tomaron las medidas de las muestras en fresco 12 horas post mortem y conservado 7 días pos mortem de color utilizando un colorímetro Minolta CR.10 con iluminante estándar D65. El valor L*(luminosidad), a*(rojizo) y b*(amarillento) se determinó a partir de las tres lecturas en la superficie del tejido. A partir de los valores de L*, a* y b* se calcularán los valores de C* (croma) y h (hue).

5.5.2.3. *Drip loss*

La pérdida de agua (*drip loss*) se determinó mediante el método de suspensión propuesto por Honikel (1998), adaptado por Carballo et al. (2017). Se utilizaron muestras de aproximadamente 1 cm³, con un peso cercano a 10 g, obtenidas del músculo *Longissimus dorsi* y orientadas en el sentido de la fibra muscular. Las muestras fueron pesadas y posteriormente suspendidas en bolsas de nylon cerradas, manteniéndose en condiciones de refrigeración (2-4 °C) durante 24 horas. Transcurrido

dicho período, se registró el peso final y, por diferencia con el peso inicial, se calculó la pérdida de peso, expresada en porcentaje.

5.5.2.4. Oxidación lipídica

Se evaluó el estatus oxidativo a través del ensayo de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), realizado tanto en carne fresca (12 horas post mortem) como en carne conservada al vacío durante siete días a una temperatura de entre 2 y 4 °C.

Se cuantificaron las especies reactivas al ácido tiobarbitúrico siguiendo el método de Lynch y Frei (1993) adaptado por Terevinto et al. (2010).

1,5 g de muestra se homogeneizaron con 100 ml de una solución buffer KCl + EDTA y 1 ml de BHT durante 1 min a 2000 x g. En tubos Falcon se colocaron 30 ml de la solución de extracción y se centrifugaron durante 10 min a 4°C. Posteriormente se extrajo 1 ml del sobrenadante y se colocó en un tubo de vidrio, se agregó 1 ml de solución TBA-TCA y se preparó el “blanco” con 1 ml de KCl + EDTA. Se colocaron los tubos en agua en ebullición durante 30 min y luego se colocaron en hielo por 5 min para detener la reacción. Se esperaron 45 min a temperatura ambiente y se agregó a cada tubo 3 ml de n-butanol; luego se pasaron por el vórtex y se centrifugaron durante 10 min.

Finalmente se extrajo el sobrenadante producto del paso anterior y se colocó en el espectrofotómetro para medir la absorbancia a 535 nm. Se cuantificó el ácido malondialdehído (MDA, producto secundario de la lipoperoxidación). Los resultados se expresaron en mg de MDA/kg de carne.

5.5.3. Estadística

Los resultados se presentan como media $\pm$ error estándar de la media de $n = 8$ animales por tratamiento. Las variables productivas GMD y EC fueron analizadas mediante ANOVA de una vía. Las variables de calidad de carne *drip loss*, pH, color y oxidación lipídica, fueron analizadas mediante ANOVA con medidas repetidas en el tiempo, considerando como efectos principales la dieta y el proceso, así como la interacción entre ambos. En todos los casos, cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante el test de

Tukey-Kramer. El nivel de significancia utilizado fue del 5 % ($p < 0,05$). Los análisis fueron realizados con el software NCSS 2019, versión 19 (NCSS, LLC, 2019).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del efecto de la inclusión de chía en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha producidos sobre pasturas, sobre parámetros productivos, y de calidad de la carne. Los datos se muestran como media $\pm$ error estándar, y las diferencias entre tratamientos se evaluaron mediante análisis de la varianza, considerándose significativas cuando $p < 0.05$.

6.1. PARÁMETROS PRODUCTIVOS

En la tabla 2 se presentan los valores de GMD y EC de los cerdos Pampa Rocha alimentados con diferentes niveles de inclusión de chía en la dieta de terminación, producidos en un sistema al aire libre sobre pasturas.

Tabla 2

Ganancia Media Diaria y Eficiencia de Conversión Según Nivel de Inclusión de Chía

Parámetro	Control	5% Chía	10% Chía	p-valor
GMD (kg/día)	0,723 $\pm$ 0,03	0,758 $\pm$ 0,03	0,787 $\pm$ 0,02	ns
EC (kg MS/kg PV)	3,644 $\pm$ 0,16	3,458 $\pm$ 0,14	3,428 $\pm$ 0,09	ns

Nota. Valores expresados como media $\pm$ error estándar (EE). GMD = Ganancia Media Diaria. EC = Eficiencia de Conversión. ns= no significativo.

En la Tabla 2 se observó un incremento numérico de la GMD a medida que aumentó el nivel de inclusión de chía en la dieta, registrándose el mayor valor en el tratamiento con 10 % de inclusión. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$), manteniéndose valores homogéneos durante el período experimental. Se observó una disminución numérica en la EC a medida que aumentó el nivel de inclusión de chía en la dieta, registrando los valores más bajos (más eficientes) en el tratamiento con mayor nivel de inclusión, los cuales tampoco mostraron diferencias significativas entre tratamientos.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Coates y Ayerza (2009), quienes no encontraron efectos sobre la GMD, el consumo de alimento ni la EC en

cerdos de terminación alimentados con dietas que contenían 10 % y 20 % de semilla de chía. De forma similar, Peiretti y Meineri (2008) no observaron diferencias en el desempeño productivo de conejos suplementados con distintos niveles de chía, mientras que Çelikoğlu y Karakaş Oğuz (2024) informaron que la inclusión de un 5 % de semilla de chía en dietas para pollos de engorde tampoco modificó significativamente los parámetros productivos. En conjunto, estos antecedentes son consistentes con la revisión de Jamshidi et al. (2019), la cual concluye que la incorporación de chía en la alimentación animal no afecta de manera consistente el desempeño productivo, por lo que su principal interés radica en su potencial para modificar atributos de calidad del producto, incluida la estabilidad oxidativa.

Los resultados del presente estudio refuerzan esta evidencia indicando que la inclusión de semilla de chía en niveles de 5 % y 10 % en dietas de terminación para cerdos Pampa Rocha producidos al aire libre no compromete el desempeño productivo, al no afectar significativamente la GMD ni la EC, constituyendo un aspecto favorable desde el punto de vista productivo.

6.2. PARÁMETROS DE CALIDAD

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a los parámetros de calidad de la carne evaluados en los cerdos Pampa Rocha alimentados con diferentes niveles de inclusión de chía en la dieta de terminación.

6.2.1. pH, *Drip loss* y color

En la Tabla 3 se presentan los valores de la evaluación de los parámetros de calidad en muestras frescas y conservadas

Tabla 3

Parámetros fisicoquímicos del músculo Longissimus dorsi según inclusión de chía y estado de conservación

Parámetro	0% Chía		5% Chía		10% Chía		Efectos principales	
	F	C	F	C	F	C	D	P
pH	5,59±0,03	5,63±0,02	5,57 ±0,02	5,60±0,02	5,62±0,04	5,63±0,03	ns	ns
Drip Loss (%)	3,69±0,69	2,51±0,55	4,82±0,73	2,13±0,73	4,43±0,60	2,10±0,36	ns	0,0002
Color								
L*	42,46±2,08	47,59±1,40	44,04±2,24	49,25±0,95	44,75±1,45	47,93±1,51	ns	0,002
a*	3,79±0,59	5,10±0,83	3,28±0,98	4,16±0,47	4,70±1,04	4,46±0,53	ns	ns
b*	8,81±0,91	11,01±0,45	9,14±1,01	11,35±0,35	9,79±0,62	10,80±0,59	ns	0,003
C*	9,62±1,05	12,26±0,69	9,84±1,27	12,13±0,44	11,04±0,94	11,72±0,73	ns	0,014
H	79,56±1,48	77,09±2,84	82,68±2,62	82,01±1,37	76,16±4,24	80,38±1,47	Ns	ns

Nota. Valores expresados como media ± error estándar (EE). F= Fresco, C= Conservado. Los efectos principales, dieta (D) y proceso (P) (fresco vs. conservado), sobre las variables estudiadas fueron analizados a través de ANOVA medidas repetidas. ns= no significativo.

Los valores de pH determinados no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Este resultado coincide con lo reportado por Wang et al. (2021), quienes, en un meta análisis sobre suplementación con AGPI en cerdos, no observaron efectos significativos de la dieta sobre el pH post mortem. Asimismo, dichos autores señalaron que ninguno de los estudios presentó valores de pH a las 24 horas superiores a 6,4 ni valores de pH a los 45 minutos inferiores a 5,5 rangos compatibles

con la carne de calidad normal. En el presente estudio, la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos indicaría que la inclusión de chía en la dieta no alteró los procesos bioquímicos post mortem responsables de la caída de pH muscular.

El pH constituye uno de los principales indicadores de calidad de la carne, debido a su influencia sobre atributos como la capacidad de retención de agua, el color, la terneza y la estabilidad durante el almacenamiento (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). En este sentido, Jankowiak et al. (2021) establecen que valores de pH último comprendidos entre 5,6 y 5,9 corresponden a carne normal, mientras que valores superiores a 6,0 son característicos de DFD y valores bajos a los 45 minutos post mortem se asocian con carne PSE (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). Los mismos autores reportaron además una estrecha relación entre el pH y parámetros colorimétricos como L^* y Hue, lo que aporta consistencia a los resultados del presente trabajo, donde la estabilidad del pH entre tratamientos coincidió con la ausencia de diferencias en los parámetros de color evaluados. En conjunto, estos resultados sugieren que la suplementación con chía no comprometió la dinámica glucolítica post mortem ni la calidad tecnológica de la carne fresca.

La pérdida por goteo evaluada en muestras frescas tampoco presentó diferencias significativas entre tratamientos. Este parámetro refleja la capacidad de retención de agua de la carne y se encuentra estrechamente relacionado con el descenso post mortem del pH y con la integridad de las proteínas miofibrilares. Desde el punto de vista comercial, valores elevados de *drip loss* se asocian con pérdidas económicas y menor aceptación del producto por parte del consumidor. Según Carballo et al. (2017), bajos valores de *drip loss* representan una característica favorable de calidad en carne porcina, asociada a una adecuada capacidad de retención de agua. En el presente estudio, ninguno de los tratamientos evidenció pérdidas elevadas por exudación.

Wang et al. (2021) observaron una elevada variabilidad entre estudios respecto al efecto de la suplementación con AGPI sobre el *drip loss*, atribuyendo esta heterogeneidad principalmente a la fuente lipídica utilizada, el nivel de inclusión y la etapa productiva de los animales. En particular, los autores señalaron que las mayores variaciones fueron observadas en dietas con altas concentraciones de linaza en cerdos en terminación. Los niveles de inclusión en el presente trabajo no alcanzaron una magnitud suficiente para generar modificaciones estructurales en el tejido muscular capaces de alterar la capacidad de retención de agua.

En cuanto a los parámetros colorimétricos evaluados, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en muestras frescas. Este resultado es relevante debido a que el color constituye uno de los principales atributos considerados por el consumidor al momento de seleccionar carne fresca.

Terevinto et al. (2023), evaluando la inclusión de semilla de chía en dietas para aves, tampoco observaron diferencias en el parámetro L^* ni en el Hue de la carne. Los autores atribuyeron esta estabilidad a la estrecha relación entre dichos parámetros y el pH post mortem, señalando que una rápida caída de pH favorece la desnaturalización de pigmentos y la exudación de agua, aumentando la dispersión de la luz sobre la superficie de la carne. En el presente trabajo, la estabilidad observada en el pH entre tratamientos resulta consistente con la ausencia de diferencias en los parámetros colorimétricos evaluados.

Resultados similares fueron reportados por Çelikoğlu y Karakaş Oğuz (2024), quienes trabajando con pollos suplementados con 5 % de semilla de chía durante 49 días no encontraron diferencias significativas en las características físicas de la carne ni en los parámetros productivos.

Con independencia del efecto de la dieta, el proceso de conservación resultó en un efecto principal significativo sobre *drip loss* ($p=0,0002$), la luminosidad L ($p=0,002$), el índice de amarillo b^* ($p=0,003$) y la cromaticidad C^* ($p=0,014$). En todos los casos, las muestras conservadas presentaron valores inferiores de *drip loss* y superiores en colorimetría respecto a las muestras frescas. Este comportamiento es consistente con los cambios bioquímicos que ocurren durante la maduración post mortem, donde la progresiva proteólisis miofibrilar y la redistribución del agua intramuscular modifican tanto la capacidad de retención de agua como la dispersión de luz sobre la superficie del músculo (Carballo, 2022). El hecho de que este efecto se haya expresado de manera homogénea en todos los tratamientos, sin interacción significativa con la dieta, refuerza la conclusión de que la inclusión de chía no modificó la respuesta de la carne al proceso de conservación.

En estudios previos realizados específicamente en cerdos Pampa Rocha también se ha observado que los parámetros fisicoquímicos pueden presentar una mayor respuesta al proceso de conservación y al tipo de músculo que a las modificaciones de la dieta. Vodanovich Possamai (2022), trabajando con *Longissimus thoracis* y *Psoas*

major de cerdos Pampa Rocha producidos al aire libre sobre pasturas, no encontró un efecto consistente de la suplementación dietaria con selenio sobre el pH, el color o la pérdida por goteo, aunque sí observó modificaciones asociadas a la conservación, entre ellas un incremento de b^* y C^* en el *Longissimus thoracis* conservado. Asimismo, Carballo (2022) reportó una evolución normal del pH *post mortem*, con un valor medio de 5,76 a las 24 h, y diferencias entre músculos en pH, color y pérdida por goteo. Estos antecedentes coinciden, en términos generales, con lo observado en el presente estudio, donde la inclusión de chía no modificó significativamente los parámetros fisicoquímicos, mientras que el proceso de conservación constituyó una fuente relevante de variación.

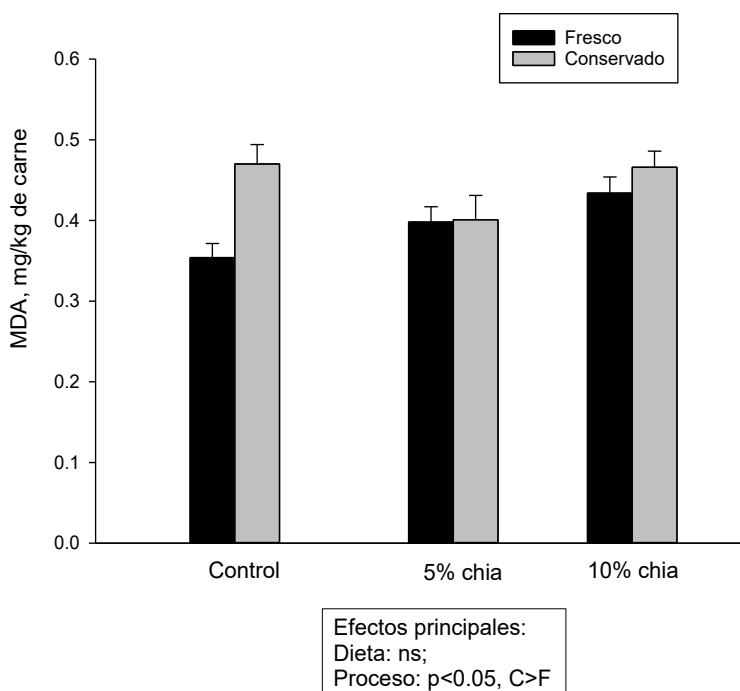
En conjunto, los resultados obtenidos en la presente tesis indican que la inclusión de semilla de chía en dietas de cerdos producidos al aire libre no afectó negativamente los atributos visuales ni tecnológicos de la carne fresca, lo que representa un aspecto favorable para su utilización como ingrediente funcional en sistemas de producción extensivos.

6.2.2. Oxidación de lípidos

En la Figura 1 se presentan los valores de oxidación lipídica de la carne, determinados mediante la cuantificación de malondialdehído (MDA).

Figura 1

TBARS del Longissimus dorsi de cerdos Pampa Rocha según inclusión de chía y conservación



Nota. Los valores son la media $\pm$ error estándar de la media de $n=8$ animales. Los datos se analizaron por ANOVA medidas repetidas en el tiempo con la dieta y el proceso (fresco y conservado) y *post hoc* Test de Fisher ($p < 0.05$). Interacción: ns.

Los valores de TBARS no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre dietas ($p=0,105$). Los valores medios fueron 0,41; 0,40 y 0,45 mg MDA/kg para T0, T1 y T2, respectivamente, manteniéndose en todos los casos por debajo del umbral de 2,0 mg MDA/kg considerado como límite de aceptabilidad sensorial por el consumidor (Campo et al., 2006; Domínguez et al., 2019), lo que indica que la inclusión de semilla de chía durante la etapa de terminación no modificó la oxidación lipídica de la carne en niveles que pudieran comprometer su calidad. En cambio, se observó un efecto significativo del proceso de conservación ($p=0,007$), registrándose mayores valores en las muestras conservadas respecto a las frescas (0,45 vs. 0,40 mg MDA/kg). Este comportamiento es consistente con la progresión de los

procesos oxidativos durante el almacenamiento, independientemente de la dieta recibida por los animales.

Los valores obtenidos se encuentran dentro del orden de magnitud reportado previamente para carne de cerdos Pampa Rocha. Espino Martínez (2022), trabajando con *Longissimus dorsi* de animales criados al aire libre sobre pasturas, registró valores de TBARS de 0,15-0,18 mg MDA/kg en carne fresca y de 0,28-0,30 mg MDA/kg luego de siete días de conservación, sin efecto significativo de la suplementación con selenio, aunque con un aumento significativo de la oxidación asociado a la conservación. Vodanovich Possamai (2022) observó igualmente una respuesta dependiente del músculo y del proceso, con un incremento de TBARS durante la conservación en *Longissimus thoracis*, mientras que en *Psoas major* la suplementación con selenio redujo la oxidación lipídica. Por su parte, Carballo (2022) reportó en *Longissimus thoracis* valores medios de 0,37 mg MDA/kg en animales Pampa Rocha criados al aire libre y de 0,45 mg MDA/kg en cama profunda, mientras que en *Psoas major* los valores fueron de aproximadamente 0,50-0,52 mg MDA/kg. En conjunto, estos antecedentes muestran que los valores registrados en el presente trabajo (0,40-0,45 mg MDA/kg) son comparables con los previamente descriptos para la raza y evidencian, además, que la estabilidad oxidativa puede variar según el músculo y las condiciones de producción y conservación.

La incorporación de fuentes dietarias ricas en AGPI puede aumentar potencialmente la susceptibilidad de la carne a la oxidación debido a la mayor presencia de doble enlaces en su estructura química (Wang et al., 2023). Sin embargo, la respuesta oxidativa final depende del equilibrio entre factores prooxidantes y antioxidantes presentes en el tejido muscular. En este sentido, Domínguez et al. (2019) señalan que la oxidación lipídica en carne está determinada por múltiples variables, incluyendo la composición de ácidos grasos, la presencia de antioxidantes naturales, la actividad de pigmentos musculares y minerales prooxidantes, además de las condiciones de almacenamiento. Por lo tanto, la ausencia de diferencias entre tratamientos observada en el presente estudio podría explicarse por un balance oxidativo que no fue alterado de manera suficiente por la incorporación de chía.

Si bien la semilla de chía representa una fuente importante de ALA y otros AGPI, también contiene compuestos bioactivos con elevada capacidad antioxidante

(Vodanovich Possamai et al., 2023), principalmente polifenoles como ácido clorogénico, quercetina, miricetina y kaempferol (Jamshidi et al., 2019; Marineli et al., 2014). La interacción entre estos componentes podría contribuir a preservar la estabilidad oxidativa del músculo, compensando parcialmente la mayor susceptibilidad a la oxidación asociada al incremento de AGPI (Marineli et al., 2014). En productos cárnicos, se ha observado que la incorporación de ingredientes vegetales ricos en compuestos antioxidantes puede modificar la evolución de la oxidación lipídica durante la conservación, retardando la formación de productos secundarios como el MDA (Falowo et al., 2014; Vodanovich Possamai, 2022). En este contexto, los resultados obtenidos sugieren que la inclusión de chía no generó alteraciones detectables en la estabilidad oxidativa de la carne.

El aumento de TBARS observado durante la conservación coincide con el comportamiento esperado de la oxidación lipídica en productos cárnicos, dado que estos procesos son acumulativos y tienden a incrementarse con la prolongación del almacenamiento (Domínguez et al., 2019; Noriega-Guevara et al., 2025). Asimismo, trabajos recientes han demostrado que los efectos asociados a estrategias dietarias con potencial antioxidante pueden ser más evidentes luego de períodos prolongados de conservación, mientras que en etapas iniciales las diferencias entre tratamientos pueden no alcanzar una expresión estadística clara. En este sentido, Muzolf-Panek et al. (2024) observaron que la dieta no modificó los valores de TBARS en carne fresca de cerdos suplementados con compuestos fenólicos, mientras que las diferencias entre tratamientos se manifestaron durante períodos posteriores de almacenamiento. Por lo tanto, es posible que la duración del período de conservación evaluado en el presente estudio haya limitado la expresión de diferencias asociadas a la inclusión de chía.

En conjunto, estos resultados indican que la suplementación con semilla de chía no compromete la estabilidad oxidativa de la carne, mientras que el proceso de conservación constituye el principal factor asociado al incremento de los valores de TBARS.

7. CONCLUSIÓN

La inclusión de semilla de chía en la dieta de terminación de cerdos Pampa Rocha producidos bajo un sistema al aire libre con base pastoril no modificó negativamente los parámetros productivos ni los atributos de calidad de la carne evaluados. Los resultados obtenidos indican que la incorporación de chía hasta los niveles estudiados constituye una estrategia nutricional viable dentro de sistemas productivos extensivos, sin generar alteraciones desfavorables sobre las características de la carne fresca y conservada.

En relación con los parámetros de calidad, la suplementación con chía no produjo cambios significativos en el pH, pérdida por goteo ni en los parámetros colorimétricos evaluados, lo que evidencia que la modificación de la dieta no alteró los procesos post mortem asociados a la transformación del músculo en carne. Asimismo, la estabilidad de estos atributos resulta relevante considerando las características particulares del sistema evaluado, donde la interacción entre genética criolla, producción al aire libre y consumo de pasturas puede influir sobre la composición y comportamiento de la carne obtenida.

Respecto a la estabilidad oxidativa, la inclusión de chía no modificó los valores de TBARS durante el período evaluado, mientras que el proceso de conservación incrementó los niveles de oxidación lipídica. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones experimentales analizadas, el aporte de AGPI provenientes de la chía no fue suficiente para modificar la susceptibilidad oxidativa de la carne, aunque tampoco generó un deterioro adicional de su estabilidad durante el almacenamiento.

Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten determinar si la incorporación de chía modificó efectivamente la composición lipídica del músculo, debido a que no se realizó la caracterización del perfil de ácidos grasos de la carne. Estudios futuros deberían evaluar la deposición de AGPI derivados de la dieta, con el objetivo de determinar si la suplementación con chía genera modificaciones nutricionales en la carne que no fueron evidenciadas mediante los parámetros tecnológicos y oxidativos evaluados en este estudio.

Asimismo, considerando que los procesos oxidativos son dependientes del tiempo de almacenamiento, evaluaciones con períodos de conservación más

prolongados podrían permitir identificar diferencias entre tratamientos que no fueron observables durante el período analizado. La utilización de diferentes niveles de inclusión de chía y la evaluación conjunta del perfil lipídico y la estabilidad oxidativa permitirían profundizar en el potencial de esta semilla como ingrediente funcional en sistemas de producción porcina alternativos.

En conjunto, los resultados obtenidos aportan información sobre el uso de semilla de chía en la alimentación de cerdos Pampa Rocha bajo condiciones productivas extensivas, demostrando que su incorporación no compromete la calidad de la carne y estableciendo una base para futuras investigaciones orientadas a evaluar su capacidad para modificar el valor nutricional y la estabilidad del producto final.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, A., Mahmood, N., Hussain, M., Aiman, U., Al-Mijalli, S. H., Raza, M. A., & Al Jbawi, E. (2023). Improvement in oxidative stability and quality characteristics of functional chicken meat product supplemented with aqueous coriander extract. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 855-865.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2189086>
- Amaral, A. B., Silva, M. V. da, & Lannes, S. C. da S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors: A review. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 1), 1-15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>
- Arenare, L., Ruiz, M. I., & Saavedra, C. (2007). *Encuesta porcina 2006: Caracterización de la situación productiva, tecnológica, comercial y social del sector porcino (FPTA-170)*. MGAP; INIA. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/porcinos2006.pdf>
- Arias Quispe, A. (2019). *Efecto de la suplementación de la harina de chía (Salvia hispánica L.) en el contenido de ácido graso (omega 3) en la carne de cuy (Cavia porcellus L.)* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4581>
- Bell, W. (2014, 17-18 de noviembre). *Situación y perspectivas de la producción porcina en Uruguay* [Contribución]. Jornadas Nacionales de Actualización Porcina y VI Encuentro del CIAP, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
<https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Situacion%20y%20perspectivas%20de%20la%20produccion%20porcina%20en%20Uruguay.pdf>
- Calvo, L., Segura, J., Toldrá, F., Flores, M., Rodríguez, A. I., López-Bote, C. J., & Rey, A. I. (2017). Meat quality, free fatty acid concentration, and oxidative stability of pork from animals fed diets containing different sources of selenium. *Food Science and Technology International*, 23(8), 716-728.
<https://doi.org/10.1177/1082013217718964>

- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>
- Carballo, C. (2022). *Calidad nutricional, funcional y estatus oxidativo de la carne de cerdo Pampa Rocha en un sistema al aire libre vs. un sistema confinado* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36526>
- Carballo, C., Terevinto, A., Barlocco, N., Saadoun, A., & Cabrera, M. C. (2017). pH, drip loss, colour, lipids and protein oxidation of meat from Pampa-Rocha and crossbreed pigs produced outdoor in Uruguay. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5(5), 342-346. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/22097>
- Carballo Sánchez, C. S., Espino Martínez, N. S., & Vodanovich Possamai, A. L. (2021). Producción de cerdos al aire libre como estrategia productiva a escala familiar. En J. M. Palma García & J. F. Cruz Uribe (Coords.), *Tecnologías sociales en la producción pecuaria de América Latina y el Caribe* (pp. 175-184). Universidad de Colima. <https://doi.org/10.53897/LI.2021.0005.UCOL>
- Castro Labanda, J. P., & Matute Palacios, A. T. (2023). *Incorporación de chía (Salvia hispánica) en la dieta tradicional del cuy (Cavia porcellus) y su influencia sobre los parámetros productivos y características organolépticas de la carne* [Trabajo final de grado]. Universidad de Cuenca.
- Çelikoğlu, O., & Karakaş Oğuz, F. (2024). Performance, some blood paremeters, fatty acid profile and TBARS value of broiler chickens fed chia seed. *Mediterranean Veterinary Journal*, 9(2), 283-287. <https://doi.org/10.24880/medivetj.1541502>
- Chaijan, M., & Panpipat, W. (2017). Mechanism of oxidation in foods of animal origin. En R. Banerjee, A. K. Verma, & M. W. Siddiqui (Eds.), *Natural antioxidants: Applications in foods of animal origin* (pp. 1-38). Apple Academic Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315365916-8/mechanism-oxidation-foods-animal-origin-manat-chaijan-worawan-panpipat>

- Coates, W., & Ayerza, R. (2009). Chia (*Salvia hispanica* L.) seed as an n-3 fatty acid source for finishing pigs: Effects on fatty acid composition and fat stability of the meat and internal fat, growth performance, and meat sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 87(11), 3798-3804. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1987>
- de Jonge, J., & van Trijp, H. C. M. (2013). Meeting heterogeneity in consumer demand for animal welfare: A reflection on existing knowledge and implications for the meat sector. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 26(3), 629-661. <https://doi.org/10.1007/s10806-012-9426-7>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), Artículo e429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Espino Martínez, N. S. (2022). *Implicancia del selenio, orgánico e inorgánico, en la composición de los ácidos grasos y en la resistencia a la oxidación del músculo longissimus dorsi del cerdo Pampa Rocha* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32680>
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, M. E., Navarro-Rodríguez de Vera, C., Lucas-González, R., Roldán-Verdú, A., Botella-Martínez, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2020). Chia, quinoa, and their coproducts as potential antioxidants for the meat industry. *Plants*, 9(10), Artículo e1359. <https://doi.org/10.3390/plants9101359>
- González, A., & Bauzá, R. (2009). Sistemas de producción porcina en Uruguay. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 16(4), 225-232.
- Gorga, L., & Segovia, N. (2025). Cadena de carne porcina: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2025* (pp. 2-21). MGAP.

- Graciano Cristóbal, M. J., Rodríguez Carpena, J. G., Sumaya Martínez, M. T., Balois Morales, R., Jiménez Ruiz, E. I., & Bautista Rosales, P. U. (2022). Efecto de extractos naturales sobre la estabilidad oxidativa de hamburguesas de carne de cerdo durante el almacenamiento refrigerado. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), 323-339. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5759>
- Grunert, K. G., Hieke, S., & Wills, J. (2014). Sustainability labels on food products: Consumer motivation, understanding and use. *Food Policy*, 44, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.12.001>
- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447-457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5)
- Instituto Nacional de Carnes. (2026). *Consumo de carnes en Uruguay: Informe 2025*. <https://www.inac.uy/innovaportal/file/18275/1/consumo-de-carnes.pdf>
- Jakobsen, M., Kongsted, A. G., & Hermansen, J. E. (2015). Foraging behaviour, nutrient intake from pasture and performance of free-range growing pigs in relation to feed CP level in two organic cropping systems. *Animal*, 9(12), 2006-2016. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001585>
- Jamshidi, A. M., Amato, M., Ahmadi, A., Bochicchio, R., & Rossi, R. (2019). Chia (*Salvia hispanica* L.) as a novel forage and feed source: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 14(1), Artículo e1297. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1297>
- 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>
- Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120, 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>

- Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022). Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I: Carcass and fresh meat. *Animal*, 16(Suppl. 1), Artículo e100402. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100402>
- Li, Y., Tao, X., Zhao, P., Zhou, J., & Ao, X. (2024). Effects of slaughter weight on carcass characteristics, meat quality, and metabolomics profiling in the longissimus dorsi muscle of Tianfu finishing pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, Artículo e1420634. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1420634>
- Lynch, S. M., & Frei, B. (1993). Mechanisms of copper- and iron-dependent oxidative modification of human low density lipoprotein. *Journal of Lipid Research*, 34(10), 1745-1751. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)35737-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)35737-0)
- Maes, D. G. D., Dewulf, J., Piñeiro, C., Edwards, S., & Kyriazakis, I. (2020). A critical reflection on intensive pork production with an emphasis on animal health and welfare. *Journal of Animal Science*, 98(Suppl. 1), S15-S26. <https://doi.org/10.1093/jas/skz362>
- Maher, S., Sweeney, T., & O'Doherty, J. V. (2025). Optimising nutrition for sustainable pig production: Strategies to quantify and mitigate environmental impact. *Animals*, 15(10), Artículo e1403. <https://doi.org/10.3390/ani15101403>
- Marineli, R. S., Moraes, É. A., Lenquiste, S. A., Godoy, A. T., Eberlin, M. N., & Maróstica, M. R., Jr. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 59(2), 1304-1310. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.014>
- Millán, Á., & Retamosa, M. (2025). Consumer assessment of pork loin quality: How important are sensory attributes, pig breed, and familiarity? *Foods*, 14(15), Artículo e2587. <https://doi.org/10.3390/foods14152587>
- Muzolf-Panek, M., Zaworska-Zakrzewska, A., Czech, A., Lisiak, D., & Kasprówicz-Potocka, M. (2024). Antioxidative status and meat quality traits as affected by dietary supplementation of finishing pigs with natural phenolics. *Antioxidants*, 13(11), Artículo e1362. <https://doi.org/10.3390/antiox13111362>

NCSS, LLC. (2019). *NCSS 2019* (versión 19) [Software].

<https://www.ncss.com/software/ncss/>

Noriega-Guevara, J., Arias-Palma, G., & Flores-Fiallos, L. (2025). Determinar la estabilidad lipídica como indicador de la calidad y frescura de la carne de cerdo. *593 Digital Publisher CEIT*, 10(3), 568-580.

<https://doi.org/10.33386/593dp.2025.3.3155>

Peiretti, P. G., & Meineri, G. (2008). Effects on growth performance, carcass characteristics, and the fat and meat fatty acid profile of rabbits fed diets with chia (*Salvia hispanica* L.) seed supplements. *Meat Science*, 80(4), 1116-1121.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.003>

Pellegrini, M., Lucas-González, R., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant capacity of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(1), 47-53. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0649-7>

Pereira, P. M. de C. C., & Vicente, A. F. dos R. B. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93(3), 586-592.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>

Pietrosemoli, S., & Tang, C. (2020). Animal welfare and production challenges associated with pasture pig systems: A review. *Agriculture*, 10(6), Artículo e223. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060223>

Pugliese, M., Previti, A., De Pascale, A., Alibrandi, A., Zirilli, A., Biondi, V., Passantino, A., Monti, S., Giannetto, C., & Lanfranchi, M. (2023). Exploring consumer behavior and preferences in welfare-friendly pork breeding: A multivariate analysis. *Foods*, 12(16), Artículo e3014.

<https://doi.org/10.3390/foods12163014>

Ramírez-Rojo, M. I., Vargas-Sánchez, R. D., Torres-Martínez, B. D. M., Torrescano-Urrutia, G. R., Lorenzo, J. M., & Sánchez-Escalante, A. (2019). Inclusion of ethanol extract of mesquite leaves to enhance the oxidative stability of pork patties. *Foods*, 8(12), Artículo e631. <https://doi.org/10.3390/foods8120631>

- Scollan, N. D., Price, E. M., Morgan, S. A., Huws, S. A., & Shingfield, K. J. (2017). Can we improve the nutritional quality of meat? *Proceedings of the Nutrition Society*, 76(4), 603-618. <https://doi.org/10.1017/S0029665117001112>
- Song, D.-H., Hwang, Y.-J., Ham, Y.-K., Ha, J.-H., Kim, Y.-R., & Kim, H.-W. (2020). Meat quality attributes and oxidation stability of loin chops from finishing gilts and cull sows. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 3142-3150. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04348-y>
- Teixeira, A., Silva, S. R., Hasse, M., Almeida, J. M. H., & Dias, L. (2021). Intramuscular fat prediction using color and image analysis of Bísaro pork breed. *Foods*, 10(1), Artículo e143. <https://doi.org/10.3390/foods10010143>
- Terevinto, A., del Puerto, M., da Silva, A., Cabrera, M. C., & Saadoun, A. (2023). Effect of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) inclusion in poultry diet on n-3 enrichment and oxidative status of meat during retail display. *CyTA - Journal of Food*, 21(1), 93-100. <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2162975>
- Terevinto, A., Ramos, A., Castroman, G., Cabrera, M. C., & Saadoun, A. (2010). Oxidative status, in vitro iron-induced lipid oxidation and superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase activities in rhea meat. *Meat Science*, 84(4), 706-710. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.11.007>
- United States Department of Agriculture. (2024). *Livestock and poultry: World markets and trade*. https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2024-10/Livestock_poultry.pdf
- Vadell, A. (2005). La producción de cerdos al aire libre en Uruguay. En D. Nieves, J. Vivas, & C. Zambrano (Eds.), *Sistemas integrados de producción con especies no rumiantes* (pp. 4-12). Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. <https://www.upc.edu.uy/prod-campo?download=8%3Avadell-2005>

- Vodanovich Possamai, A. L. (2022). *Selenio orgánico e inorgánico en la dieta de cerdos Pampa Rocha en sistema pastoril: Calidad de carne, estatus oxidativo y nutricional de los músculos frescos, conservados y en jamón cocido* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/35048>
- Vodanovich Possamai, A., Cabrera Bascardal, M. C., Saadoun Bachotet, A., Espino Martínez, N., & Carballo Sánchez, C. (2023). Propiedades antioxidantes y contenido de macro y microminerales en semillas de chía (*Salvia hispanica*) de diferente origen en Latinoamérica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 73(Supl. 1), 190. <https://doi.org/10.37527/2023.73.S1>
- Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science*, 8(1), 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.02.002>
- Wang, L., Huang, Y., Wang, Y., & Shan, T. (2021). Effects of polyunsaturated fatty acids supplementation on the meat quality of pigs: A meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, 8(1), Artículo e746765. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.746765>
- Wyszecki, G. (1976). TC-1.3 colorimetry: Progress report. En Commission Internationale de l'Éclairage (Ed.), *Proceedings of the 18th session, London, 1975* (pp. 161-172). Bureau Central de la CIE.
- Zhang, G., Huang, J., Sun, Z., Guo, Y., Lin, G., Zhang, Z., & Zhao, J. (2024). Effects of trace mineral source on growth performance, antioxidant activity, and meat quality of pigs fed an oxidized soy oil supplemented diet. *Antioxidants*, 13(10), Artículo e1227. <https://doi.org/10.3390/antiox13101227>