



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.**

**DESEMPEÑO PRODUCTIVO, HISTOMORFOMETRÍA DEL
EPITELIO INTESTINAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE
CERDOS FINALIZADORES SUPLEMENTADOS CON ÁCIDO
FERÚLICO Y ORUJO DE UVA**

Por:

Leslie Sherelynne Medrano Vázquez

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

APROBACIÓN

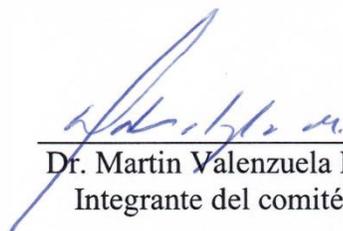
Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Leslie Sherelynne Medrano Vázquez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias.



Dr. Humberto González Rios
Director de Tesis



MC. Libertad Zamorano García
Integrante del comité de tesis



Dr. Martin Valenzuela Melendres
Integrante del comité de tesis



Dra. Reyna Fabiola Osuna Chávez
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Desempeño Productivo, Histomorfometría del Epitelio Intestinal y Calidad de la Carne de Cerdos Finalizadores Suplementados con Ácido Ferúlico y Orujo de Uva" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial de la autora Leslie Sherelynne Medrano Vázquez, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos



Dra. Graciela Caire Juvera
Directora General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por brindarme el financiamiento económico necesario para llevar a cabo mis estudios de posgrado de Maestría en Ciencias.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C) por haberme aceptado en su programa de estudios de Maestría en Ciencias y permitirme hacer uso de sus instalaciones.

A la Universidad de Sonora (UNISON), por su colaboración y permitirme realizar el trabajo de campo en la granja experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería. De manera particular al Dr. Miguel Ángel Barrera Silva por su apoyo técnico y las facilidades otorgadas en la experimentación.

A cada uno de los investigadores que formaron parte de mi comité de tesis, su valiosa orientación y experiencia fue fundamental para el desarrollo de esta investigación: Dr. Humberto González Ríos, MC. Libertad Zamorano García, Dr. Martín Valenzuela Melendres y Dra. Reyna Fabiola Osuna Chávez.

Especialmente al Dr. Humberto González Ríos, por haberme aceptado como su estudiante e incluirme en su equipo de trabajo. Por su tiempo y dedicación en mis estudios, además de sus consejos que han sido importantes para mi crecimiento académico, profesional y personal.

A la Mtra. Libertad Zamorano García, por su apoyo, organización y guía durante los muestreos y los análisis fisicoquímicos. Al Dr. Martín Valenzuela Melendres, por sus puntuales pero cálidas observaciones en las juntas de comité.

Con cariño a la Dra. Reyna Fabiola Osuna Chávez, quien ha sido mi mentora y mi inspiración académica y profesional desde siempre. Gracias por aceptarme como una hija más y ayudarme cultivar las múltiples áreas de mi vida, por escucharme, alentarme y aconsejarme.

A la Q.B. Thalia Islava Lagarda por su importante guía y apoyo técnico brindado en la realización de las diversas técnicas de laboratorio a lo largo de los dos años de la maestría, por su conocimiento y disposición de brindarme asesoramiento en cada paso.

Con especial aprecio a MC. Alejandra Ospina, MC. Ana Tanori, MC. Eileen Corral, MC. Julio González y Q.B. Thalia Islava, por su dedicación, orientación y paciencia al capacitarme para no dejar que explotara en el laboratorio. Su apoyo incondicional y amistad han sido fundamentales.

A los valiosos amigos que hice durante estos dos años, Fernanda, Kathia, Cristian, Alejandro, Dulce, Arath, Paola, Iván y Brenda, con quienes tuve el privilegio de compartir experiencias académicas y personales. Por apoyarme, acompañarme y escucharme. Por ser una fuente constante de motivación, inspiración y alegría, gracias.

Por último, agradezco y reconozco el valor de haber dado lo mejor en cada paso, de no desistir cuando las dificultades surgieron y disfrutar el proceso. Por confiar y estar orgullosa de lo que he logrado. Este viaje ha sido un recordatorio constante de mis capacidades y una motivación para seguir aprendiendo y creciendo.

DEDICATORIA

A mi familia,
mis hermanos Itzel Yoatzin y Christian Eduardo
y mis padres Raul Medrano y Hayde Vázquez,
el pilar fundamental en mi vida y mi mayor fuente de inspiración.
Los amo, OHANA.

A la memoria de
mamá Mina y papá Tino, mis abuelos,
quienes encontraron su refugio en los brazos de Dios
mientras yo aún recorría este sendero.
Ahora me sonríen desde el cielo, lo sé.
Con amor eterno.

A mis más leales compañeros
Hopper y Zoro,
su amor incondicional y presencia reconfortante
en mis momentos de estudio
han sido mi refugio, mi consuelo y
la causa de interminables alegrías.

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	10
LISTA DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	16
2.1. Perspectivas de la Producción de Carne de Cerdo.....	16
2.2. Promotores de Crecimiento Como Estrategias en la Alimentación en los Sistemas de Producción Porcina.	17
2.2.1. Efectos de los PC sobre el Desempeño Productivo, la Calidad de la Carne y el Bienestar Animal.	18
2.2.2. Impacto del Uso de PC en Animales sobre la Salud Pública, Economía y las Tendencias Alimentarias Globales.....	19
2.3. Aprovechamiento de Subproductos Agroindustriales para la Alimentación Animal: Una Alternativa Sustentable	20
2.4. Uso de Fitoquímicos Como Promotores del Crecimiento y Moduladores del Metabolismo de Monogástricos.....	21
2.5. Propiedades Bioactivas de los Compuestos Fenólicos.....	22
2.5.1. Ácido Ferúlico: Fuentes y Beneficios Fisiológicos.....	23
2.5.2. Orujo de Uva: Alternativa Natural de Compuestos Fenólicos con Atributos Nutracéuticos	24
2.6. Uso Potencial del AF y OU en la Producción de Cerdos.....	25
2.6.1. Impacto sobre el Desempeño Productivo y las Características de la Canal.....	26
2.6.2. Cambios en Niveles Hormonales y de Aminoácidos Libres.....	27
2.6.3. Cambios Histomorfométricos del Epitelio Intestinal.....	28
2.6.4. Efecto sobre la Calidad Química y Fisicoquímica de la Carne.....	28
3. HIPÓTESIS	30
4. OBJETIVOS	31
4.1. Objetivo General.....	31
4.2. Objetivos Específicos.....	31

CONTENIDO (continuación)

5. MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1. Animales y Tratamientos Experimentales.....	32
5.2. Evaluación del Desempeño Productivo.....	33
5.3. Análisis del Perfil Hormonal.....	34
5.4. Sacrificio y Calidad de la Canal.....	35
5.5. Colección de Muestras.....	35
5.6. Determinación de Aminoácidos.....	37
5.7. Análisis Histomorfométrico del Epitelio Intestinal.....	37
5.8. Análisis de la Calidad de la Carne.....	38
5.8.1. Evaluación de la Calidad Química.....	39
5.8.2. Análisis Fisicoquímico.....	41
5.8.3. Estudio de Estabilidad de la Carne en Refrigeración.....	42
5.9. Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	42
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
6.1. Desempeño Productivo.....	44
6.2. Perfil Hormonal de HC e IGF-1.....	47
6.3. Perfil de Aminoácidos Libres en Músculo LT.....	47
6.4. Histomorfometría de Epitelio Intestinal.....	49
6.5. Calidad de la Canal.....	55
6.6. Análisis de la Calidad de la Carne.....	57
6.6.1. Calidad Química.....	57
6.6.2. Perfil de Ácidos Grasos.....	60
6.6.3. Calidad Físicoquímica de la Carne.....	63
6.6.4. Estudio de Estabilidad en Refrigeración a 4 °C.....	65
7. CONCLUSIONES	71
8. RECOMENDACIONES	72
9. REFERENCIAS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema de colección de muestras de intestino delgado en cerdos para su evaluación histomorfométrica. Elaboración propia.	36
2. Esquema de corte del músculo <i>Longissimus thoracis</i> (LT) para la evaluación de la calidad física y fisicoquímica de la carne. Elaboración propia.....	39
3. Corte histológico de duodeno de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva. HE 4x.....	50
4. Corte histológico de duodeno de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva. HE 10x.....	51
5. Valores de L* (Panel A), a* (Panel B), b* (Panel C), ángulo de matiz (Panel D) y cromaticidad (Panel E) de carne fresca de cerdo almacenada a 4°C en presencia de luz.	68
6. Valores de oxidación lipídica (1A) y proteica (1B) de carne fresca de cerdo almacenada a 4°C en presencia de luz.....	70

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.	33
2. Desempeño productivo de cerdos finalizadores suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva durante 31 días.....	44
3. Perfil hormonal de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.....	47
4. Perfil de aminoácidos libres a partir del músculo <i>Longissimus thoracis</i> de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.....	48
5. Mediciones histomorfométricas de duodeno y yeyuno de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.	52
6. Calidad de la canal de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.....	55
7. Composición química de carne de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.....	58
8. Perfil de ácidos grasos (%) de la grasa intramuscular del músculo <i>Longissimus thoracis</i> de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.	60
9. Sumatorias (%) de los ácidos grasos y relaciones nutricionales de la grasa intramuscular del músculo <i>Longissimus thoracis</i> de cerdos suplementados con ácido ferúlico y orujo de uva.	62
10. Características fisicoquímicas de la carne de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.	63

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación	Página
1. Ganancia diaria de peso (GDP): se consideró la diferencia del peso inicial y el peso final, dividida entre el número de días de la prueba de alimentación.....	33
2. El consumo de alimento por animal (CDA): se obtuvo con base en el registro de la cantidad de alimento ofrecido y rechazado diariamente, se estimó la media para todo el periodo de la prueba de comportamiento.	34
3. Conversión alimenticia (CA): se estimó según la relación de CDA y GDP por animal y tratamiento.	34

RESUMEN

En la nutrición animal y alimentación de cerdos, estrategias como la suplementación con fitoquímicos ricos en compuestos fenólicos han adquirido gran interés como alternativa natural para hacer más eficientes los sistemas pecuarios. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la incorporación dietaria de ácido ferúlico (AF) y harina de orujo de uva (OU) sobre el desempeño productivo, histomorfometría intestinal, calidad de la canal y de la carne de cerdos finalizadores. Treinta animales Duroc x Yorkshire (peso inicial 80.45 ± 2.38 kg) fueron alimentados por 31 días durante la etapa de finalización y asignados aleatoriamente a uno de 3 tratamientos (n=10): 1) Testigo (T): Dieta basal (DB); 2) AF: DB + 25 mg de AF y 3) OU: DB + 2.5% de OU. En la prueba de alimentación, aunque el desempeño productivo no fue afectado por los tratamientos ($P > 0.05$), el OU aumentó el consumo de alimento y la ganancia de peso en un 10% respecto al Testigo. Los valores hormonales de HC e IGF-1 al final de la suplementación no se vieron afectados ($P > 0.05$). No hubo cambios en el perfil de aminoácidos libres en el músculo *Longissimus thoracis* (LT). En la histomorfometría del epitelio intestinal, tanto AF como OU aumentaron la longitud y el ancho de las vellosidades, y mejoraron la relación vellosidad-cripta de la porción duodenal ($P < 0.05$). En la porción de yeyuno solo aumentó el ancho de las vellosidades ($P < 0.05$). En calidad de la canal, hubo una tendencia a mejorar el rendimiento de la canal con AF ($P = 0.08$) y disminuir el marmoleo con OU ($P = 0.09$). El perfil lipídico del LT se modificó con los tratamientos de AF y OU al disminuir el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (C:18:2 t, $P < 0.05$) y tendió a reducir los monoinsaturados (C:14, $P = 0.08$). En el estudio de estabilidad de la carne en refrigeración a 4 °C por 7 días, los parámetros de color y oxidación proteica (Metb) solo se afectaron por el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$). Mientras que, el OU retardó la oxidación lipídica de la carne durante todo el periodo de almacenamiento ($P < 0.05$). Los resultados sugieren que ambos aditivos (AF y OU) pueden ser una alternativa natural para mejorar algunos parámetros del desempeño productivo, características de la canal y la calidad de la carne de cerdos en engorda intensiva.

Palabras Clave: Producción porcina, fitoquímicos, subproductos, desempeño productivo, calidad de la carne, histomorfometría intestinal.

ABSTRACT

In animal nutrition and pig feeding, strategies such as supplementation with phytochemicals rich in phenolic compounds have gained great interest as a natural alternative to make livestock systems more efficient. The objective of the study was to evaluate the effect of dietary incorporation of ferulic acid (FA) and grape pomace flour (GP) on the productive performance, intestinal histomorphometry, carcass quality, and meat quality of finishing pigs. Thirty Duroc x Yorkshire animals (initial weight 80.45 ± 2.38 kg) were fed for 31 days during the finishing stage and randomly assigned to one of three treatments (n=10): 1) Control (C): Basal diet (BD); 2) FA: BD + 25 mg of FA, and 3) GP: BD + 2.5% GP. In the feeding trial, although the productive performance was not affected by the treatments ($P>0.05$), GP increased feed intake and weight gain by 10% compared to the Control. The hormonal values of cortisol and IGF-1 at the end of supplementation were not affected ($P>0.05$). There were no changes in the free amino acid profile in Longissimus thoracis (LT) muscle. In the histomorphometry of the intestinal epithelium, both FA and GP increased the length and width of the villi and improved the villus-crypt ratio of the duodenal portion ($P<0.05$). In the jejunum portion, only the width of the villi increased ($P<0.05$). Regarding carcass quality, there was a tendency to improve carcass yield with FA ($P=0.08$) and decrease marbling with GP ($P=0.09$). The lipid profile in the LT was modified with FA and GP treatments, by decreasing the content of polyunsaturated fatty acids (C:18:2 t, $P<0.05$) and tended to reduce the monounsaturated fatty acids (C:14, $P=0.08$) and. In the refrigerated meat stability study at 4 °C for 7 days, color parameters and protein oxidation (Metb) were only affected by the storage time ($P<0.05$). Meanwhile, GP delayed meat lipid oxidation throughout the storage period ($P<0.05$). The results suggest that both additives (FA and GP) can be a natural alternative to improve some parameters of productive performance, carcass characteristics, and meat quality in intensive pig fattening.

Keywords: Pig production, phytochemicals, byproducts, productive performance, meat quality, intestinal histomorphometry.

1. INTRODUCCIÓN

La producción y consumo de carne de cerdo a nivel mundial es de gran importancia debido a su precio, valor nutricional y accesibilidad frente a la carne de otras especies terrestres (COMECARNE, 2022). Por lo anterior, es necesaria la implementación de estrategias para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción intensiva y satisfacer la demanda de los consumidores. Los promotores de crecimiento (PC) como los beta-agonistas adrenérgicos (β AA) y los antibióticos promotores de crecimiento (APC) se han utilizado para mejorar el desempeño productivo y la calidad de la carne (INTAGRI, 2019). Sin embargo, el uso de estos compuestos ha sido restringido en diversos países, argumentando potenciales riesgos a la salud de los animales y los consumidores (OMS, 2017; OPS, 2021).

Ante este panorama, la industria y la comunidad científica buscan alternativas naturales, que brinden efectos similares y/o mejores a los APC y β AA sobre los parámetros productivos, las características de la canal y la calidad de la carne de cerdo (Righi *et al.*, 2021). En este sentido, los fitoquímicos, metabolitos secundarios de las plantas que tienen diversas propiedades bioactivas se presentan como una opción prometedora (Lillehoj *et al.*, 2018). Estos compuestos pueden ser obtenidos a partir de subproductos agroindustriales y tienen potencial para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción animal, al tiempo que contribuyen a la economía del sector agropecuario, la sostenibilidad y la reducción de la contaminación ambiental (FAO *et al.*, 2021; Teigiserova *et al.*, 2019).

El ácido ferúlico (AF) se ha usado como aditivo promotor de crecimiento en rumiantes, aves y cerdos (Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2017). Particularmente en porcinos, se han observado resultados favorables sobre la ganancia diaria de peso (GDP) y la conversión alimenticia (CA), así como disminución del espesor de grasa dorsal (EGD) con dosis de 15 y 25 ppm de AF por 28 días en cerdos finalizadores (Herrera *et al.*, 2011; Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2021). Además, se ha demostrado que AF tiene efectos positivos sobre el aumento en el área del ojo de costilla (AOC) y transición de las fibras musculares glucolíticas a oxidativas (Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2021). Mientras que, con dosis de 100 ppm/kg de AF por 28 días en la etapa de finalización el desempeño productivo no se afectó, reportó mejores valores de pH a los 45 min post sacrificio, menor fuerza de corte (EC) y mayor capacidad antioxidante (Li *et al.*, 2015). Por otra parte, la suplementación

con 0.05-0.45% de AF durante 5 semanas en lechones, mejoró la capacidad antioxidante y favoreció la barrera intestinal al elevar la actividad de enzimas antioxidantes y proteínas estructurales de la mucosa intestinal (Chen *et al.*, 2022). Se ha sugerido que uno de los posibles mecanismos de acción del AF cuando se suplementa en etapa de finalización, es un efecto anabolizante similar a los compuestos β AA. Aunque se le ha atribuido efecto sobre el tracto digestivo, los estudios en cerdos de finalización son insuficientes.

El orujo de uva (OU) por su parte, ha sido incluido en dietas de monogástricos como pollos y cerdos. En este último, se ha ofrecido en forma de ensilado, pasta deshidratada, extractos o harina en dosis distintas, con resultados favorables pero inconsistentes (Alfaia *et al.*, 2022). Principalmente se ha usado en fases de crecimiento del cerdo para mejorar la salud del tracto digestivo y modular la microbiota en etapas tempranas de producción (Kafantaris *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2018). Los efectos sobre la capacidad antioxidante han acaparado mayor interés. La suplementación con compuestos del OU en diversas cantidades, presentaciones y tiempos de exposición han reportado niveles de oxidación lipídica más bajos e incremento de la actividad de enzimas con función antioxidante, así como sus genes asociados (Sanda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020). Sin embargo, la información sobre su mecanismo de acción, dosis y tiempos de exposición aún no son claros.

El AF se ha utilizado principalmente en etapas de crecimiento y finalización de cerdos por su potencial anabólico, mientras que el OU se ha utilizado primordialmente por su efecto como modulador digestivo en etapas tempranas de crecimiento de los cerdos. Ambos compuestos han mostrado resultados favorables pero inconsistentes, y se ha observado que dosis altas, exposición prolongada o combinación con otros compuestos pueden producir efectos negativos o dificultar su biodisponibilidad (Taranu *et al.*, 2018).

Por lo tanto, futuras investigaciones deben centrarse en determinar las dosis efectivas, los tiempos de aplicación y mecanismos de acción de estos compuestos involucrados en el crecimiento, desarrollo y el aprovechamiento de los nutrientes en cerdos. En este estudio, el objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación con AF y OU en cerdos finalizadores, sobre el desempeño productivo, la histología de epitelio intestinal, las características de la canal y la calidad de la carne.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

2.1. Perspectivas de la Producción de Carne de Cerdo

La carne de cerdo es una excelente fuente de nutrientes esenciales como proteínas, vitaminas y minerales, es un alimento bajo en grasas saturadas y a menudo es más asequible a nivel mundial que otro tipo de carnes terrestres. Sin embargo, debido al efecto de la pandemia de COVID-19 y la aparición de los brotes de peste porcina africana (PPA) en el Medio Oriente, hubo un descenso a nivel global en el consumo de carnes, siendo el más afectado el de cerdo con -4.0% (COMECARNE, 2022). Aun así, la OECD-FAO (2022) y la USDA (2022) habían previsto una recuperación del 13.1% al término del 2023, por encima del nivel base que fue reducido por la PPA. Sin embargo, se hizo notar al cierre del 2021, donde se registró un crecimiento de la producción de carne del 13.8%, alcanzando un máximo de 108.949 millones de toneladas en canal, siendo el primer año que se reportan cifras positivas desde las caídas en los periodos 2019 y 2020. De manera importante, el consumo mundial de esta especie aumentó en 13.9%, que representan 108.139 millones de toneladas.

Globalmente, México representa el 2% de la producción de carne de cerdo, ocupando el 8vo lugar con una aportación de 1.485 millones de toneladas. Debido a la pandemia del COVID-19, se generaron oportunidades históricas de exportaciones a países como Japón (52.6%), China (25.4%), Estados Unidos (15.5%) y Corea del Sur (3.8%). Actualmente ocupa el 5to lugar en exportación con 330 mil toneladas de carne en canal y es el 8vo lugar como consumidor de carne de cerdo (COMECARNE, 2022). Para el 2021, a nivel nacional la producción porcina descendió en 2.1%, mientras que el consumo aumentó en 11.2%. Actualmente, el consumo per cápita anual es de 20.8 kg, con una tendencia a crecer alrededor del 1% cada año. Los principales productores del país son: Jalisco (22.6%), Sonora (18%), Puebla (10.8%), Yucatán (9.2%), Veracruz (9%), Guanajuato (7.9%), Michoacán (3%) y Chiapas, Oaxaca y Querétaro (5.2%) que aportan el 86% de la producción nacional. Ese mismo año, se importó un total de 1.150 millones de toneladas de carne de cerdo, principalmente de Estados Unidos, Canadá, España y Chile (COMECARNE, 2022).

2.2. Promotores de Crecimiento como Estrategias en la Alimentación en los Sistemas de Producción Porcina.

La producción porcina, ha desarrollado una considerable eficiencia en el área de la nutrición animal, buscando así garantizar la disponibilidad constante de carne de cerdo. La utilización de los promotores de crecimiento animal (PCA), son una de las numerosas estrategias enfocadas en incrementar los parámetros de producción. Los PCA pueden ser de origen sintético o natural, tienen acción biológica diversa y producen efectos estimulantes del desarrollo, dirigen de manera eficaz los procesos metabólicos, facilitan el anabolismo y mejoran la fijación de las proteínas en el organismo (Cancho *et al.*, 2000). Al incluirlos en la dieta o administrarlos por otra vía parenteral, se mejoran aspectos productivos como: ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CDA), conversión alimenticia (CA), el rendimiento y las características de la canal (INTAGRI, 2019). Dentro de los PC sintéticos más utilizados en la producción animal intensiva de diversos países, están los APC y β AA.

Los antibióticos, son sustancias empleadas con fines terapéuticos y profilácticos para tratar o prevenir infecciones. Cuando se suministran en el alimento a dosis subterapéuticas se consideran promotores de crecimiento (Lillehoj *et al.*, 2018). Sin embargo, su mecanismo de acción sobre el desarrollo corporal no se conoce totalmente. Su efecto se le atribuye a la modificación de la microbiota intestinal, por la disminución de especies patógenas, estimulación selectiva de microorganismos responsables de sintetizar vitaminas, aminoácidos y reducción de la competencia por los nutrientes (Miyasaka, 2007).

Los β AA también llamados “repartidores de energía”, son compuestos químicos con un anillo aromático de benceno y forman parte del grupo de las feniletanolaminas (Sumano *et al.*, 2002). Particularmente, uno de los más utilizados en los sistemas de producción porcina es el clorhidrato de ractopamina (RAC) (Panisson *et al.*, 2020). El modo de acción de los β AA está determinado por su unión a los receptores adrenérgicos beta ($RA\beta$) en la membrana celular (Sumano *et al.*, 2002), las respuestas generadas son diferentes en función del tejido y el tipo de receptor. Los β AA han demostrado beneficios por su capacidad de redireccionar los nutrientes hacia la deposición de masa muscular magra, estimular el crecimiento y la eficiencia productiva.

2.2.1. Efectos de los PC sobre el Desempeño Productivo, la Calidad de la Carne y el Bienestar Animal

La suplementación dietaria con antibióticos promotores del crecimiento, muestra eficacia en el control de enfermedades, ganancia de peso y conversión alimenticia (Bich *et al.*, 2020). En sistemas de producción porcina con condiciones sanitarias pobres, la adición de APC mejoró el desempeño productivo aumentando el 75% del peso corporal de los animales. Mientras que, en granjas con buenas condiciones sanitarias, el peso corporal se elevó un 15%. En cerdos suplementados con antibióticos, los porcentajes productivos a partir del año 2000, son menores comparados a los reportados antes de ese año (Miyasaka, 2007). Una de las posibles razones de la baja respuesta productiva de los animales ante los APC, es la dependencia de los antimicrobianos y la creciente resistencia bacteriana. Así, más allá de satisfacer la demanda de proteína animal esto afecta la competitividad global para exportación de alimentos de origen cárnico y pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas productivos.

Por su parte, el uso de repartidores de energía incrementa la GDP y la cantidad de carne magra, disminuye el porcentaje de grasa de cobertura y acelera el metabolismo de los animales (Soares *et al.*, 2022). Así mismo, la carne de cerdo tratada con RAC, no presenta modificaciones en las características sensoriales de aroma y palatabilidad, cualidades que favorecen la calidad de la carne (Mariezcurrrena-Berasain *et al.*, 2012). No obstante, disminuye el porcentaje de marmoleo e incrementa la fuerza de corte (Brustolini *et al.*, 2019). La suplementación de cerdos con RAC, también acrecienta la susceptibilidad al estrés. Por lo tanto, produce mayor alteración del comportamiento y fisiología del animal durante el manejo o transporte, lo que afecta su bienestar y repercute en la calidad de la carne (Marchant *et al.*, 2003). A pesar de obtener algunos beneficios, la inclusión de aditivos promotores del crecimiento sintéticos como RAC, sigue generando rechazo por los consumidores (De Cara & Rey, 2021).

2.2.2. Impacto del Uso de PC en Animales sobre la Salud Pública, Economía y las Tendencias Alimentarias Globales.

El uso de antibióticos y beta-agonistas como promotores de crecimiento, mejora la eficiencia de los parámetros productivos en los sistemas de producción porcina. Sin embargo, esta estrategia se ve limitada por la potencial presencia de residuos en los productos cárnicos para consumo humano y el desarrollo de microorganismos resistentes a los antibióticos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2021), indican que, en algunos países, el 80% del consumo total de antibióticos de importancia médica se da principalmente en el sector animal, como promotor de crecimiento. Su uso constante e indebido, contribuye al aumento de la amenaza que representa la resistencia a los antimicrobianos, no solo para los animales, sino también para la salud humana. Por el contrario, las dietas que restringen el uso de APC, reducen la incidencia de microorganismos resistentes hasta en un 39% (Tang *et al.*, 2017).

En cuanto a los efectos farmacológicos y toxicológicos de los β AA en humanos, todavía no están bien esclarecidos. Algunas afecciones relacionadas al consumo de carne de animales suplementados con algunos tipos de β AA sin tiempo de retiro suficiente son: taquicardia, nerviosismo, dolores musculares, temblores y cefaleas (Ezquerro-Osorio *et al.*, 2019). Para RAC no se consideran aún efectos adversos para los humanos debido a su rápido nivel de degradación (Sumano *et al.*, 2002).

Por lo anterior, cerca de 160 países como los de la Unión Europea, China, Rusia, Japón y Corea, prohíben la utilización de los APC y β AA como promotores de crecimiento en animales sanos (Desdémona, 2019). Aun así, países como Estados Unidos, Canadá y México, permiten el uso de RAC en cerdos, según los límites máximos residuales, establecidos en el Codex Alimentarius (FAO-WHO, 2018). En cuanto a los antibióticos, hay pocas legislaciones y estrategias para regular, restringir y llevar seguimiento de su uso en los sistemas de producción animal (Dreser-Masilla *et al.*, 2010).

El impacto económico de la prohibición de los APC y β AA podría ser limitado en los países con alto grado de desarrollo industrial, pero es potencialmente mayor en países con sistemas de producción animal emergentes (Laxminarayan *et al.*, 2015). Sin su aplicación, las etapas de crianza

de los animales se prolongan, lo que implica mayor gasto en alimentación, mano de obra e infraestructura. Por lo tanto, disminuye la disponibilidad de los productos de origen animal y el costo de producción se eleva.

Por otra parte, la población cada vez se preocupa más por el origen de sus alimentos. Es por ello que las tendencias se dirigen hacia el consumo saludable, que se ven afectadas por diversos factores externos como la situación global, economía, prevalencia de enfermedades y el acceso a los alimentos. De la misma forma, los consumidores promueven activamente la producción de alimentos cárnicos con criterios de bienestar animal, inocuidad, salud y sustentabilidad ecológica (Valadez-García *et al.*, 2021).

2.3. Aprovechamiento de Subproductos Agroindustriales para la Alimentación Animal: Una Alternativa Sustentable

La producción y procesamiento de los diversos productos agrícolas de alta demanda global generan un volumen importante de subproductos (Sarkar *et al.*, 2012). Por lo común incluyen tallos, hojas, salvado, cáscaras y raíces de plantas (Chuang *et al.*, 2021), que son utilizados en muy bajo porcentaje como materia prima para otros procesos. En países con poca tecnología industrial, la gran cantidad de materia orgánica se abandona en vertederos o se incinera, generando contaminación del entorno (Vargas-Corredor & Pérez-Pérez, 2018).

Paralelamente a la producción agroindustrial, la demanda de proteína de origen animal también aumenta y con ello, la necesidad administrar alimentos para cubrir los requerimientos nutricionales de los animales (Chuang *et al.*, 2021). Los costos elevados de los cereales y vegetales usados en la alimentación humana, dificulta su acceso para formulación de dietas en la producción pecuaria (Cáceres-Mendoza & Pineda-Núñez, 2020). Por lo tanto, es necesario plantear estrategias para hacer más económicos, eficientes y sostenibles los sistemas pecuarios.

Algunos subproductos agroindustriales, tienen una composición química y física favorable para la alimentación de rumiantes, cerdos, aves y otras especies (Vargas-Corredor & Pérez-Pérez, 2018). Además, son fuentes ricas de compuestos fitoquímicos, azúcares, ácidos orgánicos y fibras dietéticas (Teigiserova *et al.*, 2019). Sin embargo, pueden estar ligados a otras estructuras, lo que

dificulta su digestibilidad. No obstante, las tecnologías de tratamiento contemporáneas y la biotecnología, mediante procesos de extracción directos, químicos o microbiológicos, permiten la conversión de biorresiduos en productos alimenticios seguros y nutritivos para los animales (Alonso *et al.*, 2011).

La implementación y la revalorización de los biorresiduos, es una propuesta para solucionar simultáneamente su aprovechamiento en la agroindustria y el sector pecuario. Esto beneficia la economía de los sistemas y mejora la eficiencia de los sistemas productivos. Así mismo, contribuye a la seguridad alimentaria, la nutrición y disminuye la marginación social de las regiones agrícolas. También, tiene efecto sobre la mitigación de la contaminación y la sostenibilidad del medio ambiente (FAO *et al.*, 2021; Springmann *et al.*, 2018).

2.4. Uso de Fitoquímicos Como Promotores del Crecimiento y Moduladores del Metabolismo de Monogástricos.

Desde hace algunos años, hay una búsqueda constante de compuestos naturales alternativos para mejorar la eficiencia productiva, la calidad de la canal y la carne de los principales animales de abasto (Barraso *et al.*, 2021).

A los fitoquímicos, un grupo muy amplio de metabolitos secundarios de las plantas, se les atribuyen propiedades protectoras ante factores estresantes. Dentro de estos compuestos, se incluyen los contenidos en hierbas y especias aromáticas, extractos de plantas y ácidos esenciales, que, dependiendo de la fuente, varían en composición (Serra *et al.*, 2021). Se pueden utilizar en presentaciones sólidas, secas molidas o como extractos, de acuerdo con el proceso de extracción de los ingredientes activos.

La suplementación dietaria con fitoquímicos a monogástricos ha producido un particular interés, dado que el uso de los APC y β AA se encuentra limitado (Lillehoj *et al.*, 2018). Además, su disponibilidad a partir de los residuos agroindustriales, considera la posibilidad de lograr efectos favorables o mejores, sin afectar la salud y bienestar animal o la salud del consumidor (Righi *et al.*, 2021). Al suplementar animales con fitoquímicos, se han evidenciado diversas propiedades bioactivas y potencial como modulador metabólico (Lillehoj *et al.*, 2018). Su acción depende de

diversos factores como: estructura, dosis, tiempos de exposición, especie animal y etapa productiva (Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2017). Los mecanismos de acción propuestos para los fitoquímicos se sintetizan en cuatro principales. Estos son: la mejora en la condición nutricional y consumo de alimento de los animales; la modulación de la microbiota en el tracto digestivo; la disponibilidad para la digestibilidad y absorción de nutrientes; y el efecto anabólico directo e indirecto en los tejidos (Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2017).

A nivel producción, los fitoquímicos muestran efectos positivos sobre la regulación enzimática digestiva en pollos de engorda (Jang *et al.*, 2004), y una mayor digestibilidad de materia seca y proteína cruda en cerdos (Li *et al.*, 2012). Promueven la absorción de los nutrientes en el tracto digestivo, lo que incrementa la conversión alimenticia y mejora el crecimiento; incrementan la actividad antioxidante y brinda beneficios en la calidad de la carne de cerdos en diferentes etapas productivas (Liu *et al.*, 2021). Además de actividad fitogénica en monogástricos, como la regulación de los tipos de fibra muscular (Chen *et al.*, 2019; Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2021). Hay una mejor respuesta inmunitaria y de protección ante factores de estrés externo en aves y porcinos (Huang & Lee, 2018; Liu *et al.*, 2013). Así como, efectos benéficos en la digestión y la reducción de gases como amoníaco y CO₂ (Barraso *et al.*, 2021). Sin embargo, a pesar de los potenciales beneficios del uso de los fitoquímicos en las dietas animales, aún se desconocen aspectos como las dosis efectivas, períodos de suplementación y los mecanismos de acción involucrados para generar dichos efectos favorables.

2.5. Propiedades Bioactivas de los Compuestos Fenólicos

Los fenoles están entre los principales y más abundantes compuestos provenientes de las plantas. En su estructura química presentan uno o más grupos hidroxilo unidos a por lo menos un anillo aromático (Ringuelet & Viña, 2013). Por su amplia variedad, se pueden dividir en compuestos solubles e insolubles. Los primeros incluyen flavonoides, quinonas y fenilpropanoides, que se pueden encontrar en la vacuola de la célula vegetal. Los insolubles como ligninas, taninos condensados y ácidos hidroxicinámicos, se encuentran en la pared celular (Gharaati, 2019). La importancia de los compuestos fenólicos radica en su potencial bioactivo a nivel celular y

fisiológico, el cual se traduce en amplios beneficios para la salud. Uno de los más relevantes, es la capacidad antioxidante, la cual induce un efecto de protección ante estímulos de estrés (Serra *et al.*, 2021). Además de mostrar actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antiproliferativa, antitrombótica, hepato y neuro protectora, antifúngica, antiviral y anticolesterolémica (Bonilla *et al.*, 2015; De Oliveira & Batista, 2017)

Debido a su potencial de captar especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, los compuestos fenólicos también son reconocidos por su utilidad tecnológica en la elaboración de fármacos y cosméticos (Navajas-Alcalde, 2019). Así mismo, en la industria alimentaria se utilizan como potenciadores de las características organolépticas y de los parámetros físico-químicos en alimentos (Abellán *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2022). Por su origen natural, suelen tener mayor aceptación por los consumidores, puesto que se perciben como “seguros para consumo” o “no tóxicos” (Serra *et al.*, 2021). En la producción animal, durante los años más recientes se ha profundizado la investigación sobre los efectos de los compuestos fenólicos, en el crecimiento y desarrollo animal (Valadez-García *et al.*, 2021).

2.5.1. Ácido Ferúlico: Fuentes y Beneficios Fisiológicos

El AF (ácido 4-hidroxi-3-metoxicinámico) es el compuesto fenólico más abundante de los ácidos hidroxicinámicos y se encuentra en la pared celular vegetal (Valadez-García *et al.*, 2021). Su estructura química se constituye por un anillo de benceno, un grupo hidroxilo y un metoxilo unido a los carbonos 3 y 4, así como un ácido propanoico. Este metabolito secundario se produce mediante la vía del shikimato en el cloroplasto, donde el precursor es el aminoácido fenilalanina y en menor proporción la tirosina (Gharaati, 2019). Las moléculas aromáticas provenientes del metabolismo de esta ruta, tienen importancia en las plantas por su actividad antioxidante, señalización, transporte de electrones, comunicación, estructural y de protección ante patógenos e insectos (Macheroux *et al.*, 1999).

El AF se puede extraer de una gran variedad de alimentos como: maíz, arroz, trigo, salvado, avena, frijol, sésamo, café tostado, espárragos, soya, olivos, girasol, alfalfa, legumbres, nueces, col, espinacas, lechuga, tomate, moras y frutos cítricos. Se encuentra en mayor proporción en granos y semillas, particularmente en el maíz (1 g/kg) y el trigo (0.5 g/kg), en estas fuentes naturales,

generalmente se encuentra enlazado a lignina, carbohidratos estructurales y otros compuestos (Huerta-Acosta *et al.*, 2013)

En la producción animal, la adición de AF a la dieta proporciona beneficios como promotor de crecimiento en animales expuestos al estrés oxidativo (Wang *et al.*, 2019). Además, por sus diversas propiedades, puede actuar como antibiótico, antiinflamatorio, ionóforo, o anabólico. Por otra parte, también ejerce como potenciador de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la carne, ya que participa en los procesos responsables del color, astringencia y aroma de los alimentos (Bonilla *et al.*, 2015; González-Noriega *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2015). Así mismo, puede mejorar la digestibilidad de los nutrientes debido a su efecto sobre la microbiota intestinal y su función en la capacidad antioxidante del tracto digestivo (González-Noriega *et al.*, 2016; Peña-Torres *et al.*, 2019). No obstante, la sobredosis y el uso prolongado de AF puede producir efectos negativos. La acumulación excesiva del compuesto en el tejido, puede provocar una respuesta prooxidante debido a su capacidad de reducir el hierro, lo que resulta en la reducción de la vida de anaquel de la carne (Kumar & Asir, 2010).

En contraste con sustancias de origen sintético, no se conocen limitantes para el uso de AF en las diferentes fases del crecimiento animal o efectos residuales que puedan comprometer la salud de los consumidores. Por lo tanto, se requiere ampliar la investigación sobre las dosis efectivas y tiempos de aplicación para evitar efectos adversos sobre los parámetros productivos y la carne de los animales suplementados. Así como explorar los mecanismos de acción que involucren sus efectos sobre la salud del tracto digestivo, con el fin de mejorar y optimizar su uso en las diferentes etapas de producción pecuaria.

2.5.2. Orujo de Uva: Alternativa Natural de Compuestos Fenólicos con Atributos Nutraceuticos

El OU, es un subproducto (cáscara, semilla y tallos) de la industria vitivinícola y se caracteriza por poseer alto contenido de polifenoles (Peixoto *et al.*, 2018). Dependiendo de diversos factores como la variedad de la uva, el área geográfica y los procesos tecnológicos, sólo se extraen aproximadamente el 30-40% de compuestos fenólicos en la fermentación del vino (Ky *et al.*, 2014). Después de la fermentación se recupera el 20% de la biomasa total de las uvas en forma de residuo,

que todavía contiene altos niveles de polifenoles (60-70%) (Beres *et al.*, 2017).

Los compuestos fenólicos principales en el OU se pueden clasificar de manera general, como flavanoides (flavonoles, flavonas, flavanonas y antocianinas), taninos, ácidos fenólicos (ácido hidroxibenzoico e hidroxicinámico) y estilbenos (resveratrol, RES) (Peixoto *et al.*, 2018). Estos compuestos están ampliamente distribuidos en la uva y la composición fenólica extraíble varía de acuerdo con el sitio de extracción. Menos del 10% se encuentran en la pulpa, entre un 60 a 70% en la semilla y entre un 28 y 35% en la piel de la uva (Shi *et al.*, 2003).

Actualmente, se ha incrementado el interés en los compuestos de los subproductos de las uvas para la alimentación animal. Particularmente, en su capacidad como modulador de la microbiota y la salud intestinal de lechones, rumiantes y aves (Serra *et al.*, 2021). Uno de los compuestos más representativos del OU es el resveratrol (cis y trans), con actividad antioxidante y estimulador del ARNm para la síntesis y retención proteica (Meng *et al.*, 2020). Produce hipertrofia muscular y transición de fibras musculares por modificación en el ARN de transcripción para miosina y actina, como se ha visto cuando es suplementado en cerdos finalizadores (Meng *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2015). Por su parte, los taninos, pueden tener impacto desfavorable en la nutrición, por su efecto negativo en la digestibilidad de las proteínas, inhibición de enzimas digestivas o toxicidad sistémica (Alfaia *et al.*, 2022).

Los principales componentes del OU tienen una amplia variedad de propiedades bioactivas. Aunque su potencial acción puede ser muy prometedora, algunas investigaciones reportan dificultades en la biodisponibilidad y por lo tanto en su absorción, además de efectos negativos sobre la salud cuando se utiliza en concentraciones altas (Choi & Kim, 2019; Taranu *et al.*, 2018). Investigaciones sobre la relación estructura-actividad de los compuestos fenólicos del OU, los niveles que garanticen una dosis segura, así como los mecanismos de acción, pueden ser muy útiles para diseñar estrategias alimentarias más eficientes y redituables en la producción animal.

2.6. Uso Potencial del AF y OU en la Producción de Cerdos

El estudio de las propiedades biológicas de los fitoquímicos se ha centrado principalmente en los parámetros de desempeño productivo y de calidad de la carne. El AF se ha adicionado primordialmente a la dieta de cerdos en etapas finalizadoras, con el objetivo de explicar su posible

mecanismo de acción anabolizante. Sin embargo, se han realizado menos estudios sobre sus efectos en la microbiota y el epitelio intestinal, por lo que sus mecanismos de acción no están bien dilucidados. Por su parte, la suplementación con OU se ha explorado principalmente en lechones, por su efecto sobre la salud del sistema digestivo, la digestibilidad de nutrientes, el sistema inmune y el desempeño productivo. No obstante, su efecto promotor de crecimiento a nivel de etapas de crecimiento y finalización, no está del todo claro. Debido a los beneficios de la suplementación con compuestos naturales como el AF y el OU en la dieta de cerdos bajo condiciones intensivas, son alternativas interesantes al uso de los compuestos promotores de crecimiento sintéticos.

2.6.1. Impacto sobre el Desempeño Productivo y las Características de la Canal

La suplementación de compuestos naturales como el AF y el OU en la dieta de cerdos dentro del sistema productivo, se ha asociado con el aumento del crecimiento de los animales y mejora en los parámetros productivos. En ese sentido, Valenzuela-Grijalva *et al.* (2021) y González-Noriega (2016), obtuvieron resultados favorables al adicionar AF en la dieta de cerdos finalizadores con dosis de 15 y 25 ppm durante 28 días. Esto, resultó en un aumento de la GDP en 13%, una tendencia a elevar la CA en un 9% y se incrementó el área del ojo de la costilla. A su vez, disminuyó hasta un 53% el espesor de la grasa subcutánea, efecto que se puede atribuir a una posible homología estructural y mecanismo similar entre el AF y los β AA, que le confieren un efecto lipolítico. Aunque Li *et al.* (2015), no reportaron efectos sobre el desempeño productivo cuando adicionaron por 28 días a dosis de 100 ppm, sí obtuvieron mejores valores de pH a los 45 min post sacrificio. Por otro lado, cuando Kafantaris *et al.* (2016) incorporaron a la dieta el 9% de OU ensilado por 30 días, mejoraron los parámetros de GDP, CDA y CA en lechones. Esto último contrasta con lo reportado por Taranu *et al.* (2018), en el que no obtuvieron efectos sobre desempeño productivo por la suplementación al 5% de harina de OU en cerdos postdestete. Así mismo, Zhang *et al.* (2015), observaron la disminución del espesor de la grasa dorsal al incorporar en la dieta 300 ppm y 600 ppm de resveratrol por 49 días, compuesto presente en el OU. Las inconsistencias entre los estudios podrían atribuirse al origen del compuesto, nivel de dosis incorporada a la dieta, el tiempo de exposición, el origen racial del animal o etapa de la curva de deposición de carne magra.

2.6.2. Cambios en Niveles Hormonales y de Aminoácidos Libres

Poco se ha informado sobre los efectos de la suplementación con compuestos fenólicos sobre cambios en los aminoácidos libres y la síntesis de proteínas. Cuando Wang *et al.* (2022) suplementaron cerdos finalizadores con ácido clorogénico (ACG) en dosis de 0.02%, 0.04% y 0.08% durante 35 días, obtuvieron una mejora significativa en los perfiles de aminoácidos libres en suero. Particularmente, la dosis de 0.04% de ACG promovió la translocación de más aminoácidos a los músculos esqueléticos. Mientras que en los tres niveles de ACG, hubo un incremento general en la expresión de los principales transportadores de aminoácidos, como el ARNm del SNAT2 (aminoácidos neutros acoplados a la bomba de sodio) y LAT1 (transportador de aminoácidos de tipo L1). Así mismo, se demostró el potencial en promover la expresión de la vía Akt-mTOR-S6K1-4EBP1 para la síntesis de proteínas y se observó una disminución de ARNm del gen MAFbx que está relacionado con la degradación proteica. Por otra parte, la suplementación con 0.08% de ACG no aumentó ni revirtió los efectos benéficos respecto al testigo.

En forma análoga a lo descrito antes, la suplementación con otros tipos de compuestos fenólicos como el AF y el OU en cerdos en finalización, podría resultar en el mejoramiento del perfil de aminoácidos libres y la biosíntesis de proteínas musculares.

En cuanto al efecto de la suplementación con compuestos fenólicos sobre niveles hormonales en cerdos, hay pocos estudios y están limitados a la medición de sus metabolitos séricos. Sin embargo, se observó que en vacas Holstein con una infusión de 100-500 ppm/kg AF se elevó la hormona del crecimiento (HC) (Gorewit, 1983). Por otra parte, la suplementación con extractos de plantas en cerdos a dosis de 0.05-0.15% logró elevar la concentración del IGF-1 (Factor de crecimiento insulínico 1) y la GDP (Devi *et al.*, 2015). Estas hormonas se relacionan directamente con el crecimiento de casi todos los tejidos del organismo, el crecimiento y desarrollo animal, por lo que incluir su análisis generaría en conjunto resultados muy interesantes para el esclarecimiento de los posibles mecanismos de acción.

2.6.3. Cambios Histomorfológicos del Epitelio Intestinal

Uno de los efectos más interesantes que ha presentado la suplementación de cerdos con el AF y OU es su capacidad para producir cambios en tejidos como el epitelio intestinal.

Particularmente, la suplementación con compuestos fenólicos en cerdos, ha mostrado efecto sobre la histología del tracto digestivo y la microbiota. Al suplementar cerdos con ACG en niveles de 250, 500 y 1000 ppm durante 28 días, la altura de las vellosidades duodenales, yeyunales e ileales aumentó y favoreció su relación V:C (vellosidad:cripta) (Zhang *et al.*, 2018). Por otra parte, cuando Chen *et al.* (2022) suplementaron lechones con ácido ferúlico en dosis de 0.05% y 0.45% durante 5 semanas, obtuvieron una mejor capacidad antioxidante y se favoreció la barrera intestinal. Así mismo, la adición de otros fitoquímicos como el ácido gálico, las isoflavonas, la canela, la soja y el orégano, entre otros, han demostrado mejorar la relación entre la altura de las vellosidades y profundidad de las criptas en lechones (Modina *et al.*, 2019).

Además, se han observado cambios en las poblaciones de algunos microorganismos de la microbiota intestinal, como el aumento de *Lactobacillus* y disminución de *Escherichia coli* (Zhang *et al.*, 2018). Estos datos coinciden con los hallazgos de Kafantaris *et al.* (2016), quienes también observaron un aumento en las bacterias probióticas y una reducción de *Escherichia coli* al utilizar ensilado de OU en la dieta de lechones. Además, de incrementar la producción de propionato en colon, lo que puede considerarse como una vía competitiva para el uso del hidrógeno y reducir la metanogénesis (Moss *et al.*, 2000).

Estos resultados sugieren que los compuestos fenólicos como el AF o los presentes en el OU podrían tener efectos sobre la histología a nivel intestinal, posiblemente mediante la modulación de la microbiota, el efecto antioxidante sobre la barrera intestinal y, en general la salud del tracto digestivo. Aunque se desconocen los mecanismos de acción involucrados, estos efectos pueden estar relacionados con el aprovechamiento de los nutrientes y la mejora del desempeño productivo.

2.6.4. Efecto sobre la Calidad química y Fisicoquímica de la Carne

La suplementación de la dieta de cerdos con AF y OU ha sido objeto de estudios recientes debido a su potencial para mejorar la calidad química y fisicoquímica de la carne de cerdo.

En cuanto a la calidad química, no se reportan efectos claros por la adición de los tratamientos para los parámetros de humedad, proteína y grasas, cenizas (González-Noriega, 2016; González-Torres, 2021; Trombetta *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2015). Respecto a la composición de los ácidos grasos (AG), se han reportado algunos cambios en el perfil lipídico con OU y extracto de semilla de uva (Kafantaris *et al.*, 2016; Meng *et al.*, 2022). Por su parte, las características fisicoquímicas son las más estudiadas. Al suplementar con AF en diferentes dosis (15, 25 y 100 ppm) durante 28 días, se evidenció la disminución de la fuerza al corte en hasta un 12% (Herrera *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2015; Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2021). De la misma manera sucedió con la incorporación de 0.005, 0.01 y 0.02% por 49 días de extracto de semilla de uva (Meng *et al.*, 2022). Algunos parámetros de color como el tono rojizo y el amarillento fueron influenciados por la adición del 3-5% harina de OU (Bertol *et al.*, 2017; Yan & Kim, 2011). De manera general, las variables de pH y CRA no fueron modificadas por la incorporación de AF y OU (Bertol *et al.*, 2017; González-Noriega, 2016; Herrera *et al.*, 2011; Peiretti *et al.*, 2015; Trombetta *et al.*, 2019).

Por otro lado, los efectos sobre la capacidad antioxidante han acaparado mayor interés. Diversos estudios en los que se ha suplementado con AF, OU, RES y ACG en diversas dosis y tiempos de exposición reportan niveles de malonaldehído (MDA) más bajos (Li *et al.*, 2015; Sanda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019). Por otra parte, se ha observado incremento de las enzimas con función antioxidante como GHSpx (glutación peroxidasa), T-AOX (arsenito oxidasa) y SOD (superóxido dismutasa), así como el ARNm de los genes asociados. En general, la carne de cerdo se caracteriza por contener una alta proporción de ácidos grasos insaturados, lo que puede resultar en la disminución de la vida útil de anaquel y un rápido deterioro oxidativo. Por lo que la incorporación de compuestos fenólicos en la dieta animal y sus propiedades antioxidantes puede ser una estrategia por considerar para favorecer la calidad de la carne.

A pesar de los efectos benéficos por la utilización de compuestos fenólicos como el AF o el OU, los resultados aún son inconsistentes en su acción como promotor de crecimiento animal. Mientras que el AF se ha utilizado principalmente en etapas de crecimiento y finalización de cerdos por su potencial anabólico, el OU se ha utilizado primordialmente por su efecto como modulador digestivo sobre porcinos en etapas tempranas. Por otra parte, a pesar de los beneficios que ofrecen sobre la calidad de la carne, los resultados no son del todo claros. Es por eso por lo que el trabajo que falta utilizando estos compuestos es dilucidar las dosis efectivas, los tiempos de aplicación y los mecanismos de acción involucrados en el crecimiento animal, la calidad de la carne y el aprovechamiento de los nutrientes en cerdos finalizadores.

3. HIPÓTESIS

El ácido ferúlico y orujo de uva suplementados en cerdos finalizadores favorecen la estructura del epitelio intestinal, lo cual se traduce en mejoras del desempeño productivo, las características de la canal y la calidad de la carne.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la suplementación con ácido ferúlico y orujo de uva en cerdos finalizadores, sobre el desempeño productivo, la histología del epitelio intestinal, las características de la canal y la calidad de la carne.

4.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de la suplementación dietaria por 31 días con AF y OU en cerdos finalizadores, sobre el desempeño productivo y características de la canal.
2. Identificar cambios histomorfométricos en el epitelio intestinal de cerdos suplementados con AF y OU.
3. Cuantificar los niveles plasmáticos de las hormonas IGF-1 y HC, así como el perfil de aminoácidos libres en músculo *Longissimus thoracis* de cerdos finalizadores suplementados con AF y OU.
4. Evaluar el estatus oxidativo del músculo *Longissimus thoracis*, así como la calidad química y fisicoquímica de la carne de cerdos suplementados con AF y OU.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos experimentales que incluyeron la suplementación de cerdos en etapa de finalización, fueron atendidos de acuerdo con la normativa vigente de bienestar animal de México (NOM-033-SAG/ZOO, 2014; NOM-051-ZOO, 1995). Así mismo, el protocolo de estudio se sometió a la aprobación y supervisión de procedimientos experimentales en campo por el Comité de Ética la Universidad de Sonora (UNISON).

5.1. Animales y Tratamientos Experimentales.

El estudio *in vivo* se llevó a cabo durante el verano de 2022 en la granja experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora (DAG-UNISON), en Hermosillo, Sonora, México. Se seleccionaron 30 cerdos machos castrados de grupo racial Duroc x Yorkshire con peso vivo inicial de 80.45 ± 2.38 kg para ser sometidos a una prueba de alimentación por un periodo de 31 días durante su etapa de engorda en finalización. Posterior a la evaluación del estado de salud, se alojaron en corrales individuales (0.6 x 2.0 m) equipados con sombra, comederos y bebederos automáticos, expuestos a la luz natural y temperatura ambiental. Al inicio de la prueba, diez corrales fueron asignados de manera aleatoria a uno de los tres tratamientos dietéticos (n=10): 1) Testigo (T), animales que recibieron sólo la dieta basal (DB) sin suplementación; 2) Ácido ferúlico (AF), animales que se alimentaron con la DB y se suplementaron con 25 ppm de AF por kg de alimento; y 3) Orujo de uva (OU), animales que recibieron la DB y se suplementaron con 2.5% de OU por kg de alimento.

La dieta basal (Cuadro 1) fue formulada por la casa comercial NutriKowi Alimentos, S.A. de C.V., específica para cubrir o superar los requerimientos de proteína y energía de la etapa productiva, según los lineamientos del NRC (2012). Todos los animales tuvieron libre acceso al agua de bebida y alimento durante el periodo de la prueba *in vivo*. El AF utilizado fue de grado alimenticio, y el OU previamente secado a 60 °C se ofreció en forma de harina.

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Ingredientes	Tratamientos ¹		
	Testigo	AF	OU
Grano de trigo, %	76.2	76.2	73.7
Harina de soja, %	17.0	17.0	17.0
Aceite vegetal, %	4.4	4.4	4.4
Premezcla ² , %	2.4	2.4	2.4
OU, %	--	--	2.5
AF, ppm/kg	--	25	--
Composición química			
Proteína Cruda, %	14.0	14.0	13.9
Humedad, %	11.9	11.9	11.9
Grasa, %	7.0	7.0	7.0
Fibra cruda, %	2.0	2.0	2.1
Ceniza, %	7.0	7.0	7.0
ELN ³ , %	58.1	58.1	58.1

¹Tratamientos: Testigo, dieta basal; AF: ácido ferúlico; OU: harina de orujo de uva.

²Premezcla: Pre-mezcla de aminoácidos, vitaminas y minerales. Cada kg de alimento proporcionó 9.5 g de fosfato dicálcico; 8.3 g de piedra caliza; 3.55 g de cloruro de sodio, 2.3 g de L-lisina; 0.5 g de DL-metionina; 0.35 g de L-treonina; 0.15 g de L-triptófano; 80 mg de DL-acetato de tocoferol; 2.2 g de acetato de retinol; 16.5 mg de colecalciferol; 4.4 mg de bisulfito de sodio; 242 mg de colina; 33 mg de niacina; 8.8 mg de riboflavina; 24.2 mg de D-ácido pantoténico; y 0.04 mg de vitamina B12.

³ELN: Extracto libre de nitrógeno.

5.2. Evaluación del Desempeño Productivo.

Se registró individualmente el peso vivo en kg al inicio (PI) y al final (PF) de la prueba de alimentación. Para estimar la ganancia diaria de peso se registró el consumo de alimento diario y se calculó la eficiencia alimenticia por animal y tratamiento mediante las fórmulas a continuación.

Ecuación 1. Ganancia diaria de peso (GDP): se consideró la diferencia del peso inicial y el peso final, dividida entre el número de días de la prueba de alimentación.

$$GDP = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Días de alimentación}}$$

Ecuación 2. El consumo de alimento por animal (CDA): se obtuvo con base en el registro de la cantidad de alimento ofrecido y rechazado diariamente, se estimó la media para todo el periodo de la prueba de comportamiento.

$$CDA = \text{Alimento ofrecido} - \text{alimento rechazado}$$

Ecuación 3. Conversión alimenticia (CA): se estimó según la relación de CDA y GDP por animal y tratamiento.

$$CA = \frac{CDA}{GDP}$$

5.3. Análisis del Perfil Hormonal.

Se recolectaron 7 mL de sangre en tubos vacutainer BD sin activador de coagulación, extraídos de la vena yugular de 5 cerdos por cada tratamiento al inicio y al final de la prueba de alimentación. Todas las muestras se dejaron reposar a temperatura ambiente por 30 min y se transportaron refrigeradas (2-8 °C) para su posterior análisis. Los tubos se centrifugaron a 10,000 rpm durante 10 min para lograr la separación del suero y las células sanguíneas. Posteriormente, se determinaron los niveles plasmáticos de la hormona del crecimiento (HC) y el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), por medio de kit comercial para la prueba de ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA por sus siglas en inglés, Sigma-Aldrich®, St. Louis, MO, USA).

5.4. Sacrificio y Calidad de la Canal.

Al finalizar la prueba de desempeño productivo, los animales fueron trasladados (previo ayuno de 16 h) a la planta de sacrificio del DAG-UNISON, siguiendo las especificaciones de la NOM-033-SAG/Z00-2014 y la NOM-051-ZOO-1995.

Se registró el peso vivo al sacrificio de todos los animales, el peso de la canal caliente y después de refrigeración a 0 – 4 °C por 24 h, se anotó el peso de la canal fría para estimar el rendimiento (datos fueron expresados en kg). Los parámetros de calidad de la canal se midieron del lado izquierdo de la canal a nivel del doceavo espacio intercostal. El pH se evaluó a las 24 h *postmortem* sobre el músculo LT con un potenciómetro digital portátil con electrodo de penetración (HANNA HI 99163). Se midió con un vernier el espesor de grasa dorsal (EDG en mm) en el segundo tercio del corte transversal de LT. El área del ojo de la costilla (AOC en cm²) se determinó a nivel del 12vo espacio intercostal de cada canal, sobre una hoja de acetato transparente se dibujó el contorno del AOC, posteriormente se contabilizó con una plantilla con cuadrantes de 1 cm² el área total. Además, se midió el grado de marmoleo (deposición de grasa intramuscular) del músculo LT, siguiendo la metodología establecida por la USDA (2000).

5.5. Colección de Muestras.

A los 45 min *postmortem* se diseccionó la media canal derecha a nivel de la 8va vértebra torácica para obtener una muestra (1x1x3 cm) del músculo LT por cada canal. Se identificaron y transportaron en nitrógeno líquido antes de almacenarlas en un ultracongelador (-80 °C) para su posterior determinación de aminoácidos libres.

Posterior al sacrificio en el eviscerado, se tomaron dos secciones longitudinales de 5 cm de la porción del duodeno y yeyuno del intestino delgado de cada unidad experimental. De forma sistemática, siempre se realizaron los cortes en la misma sección del intestino para todos los animales muestreados (Figura 1). Específicamente, para la sección de duodeno, después del píloro se descartaron los primeros 10 cm antes de realizar los cortes, mientras que, después de 40 cm a

partir del píloro se realizaron los cortes para la sección de yeyuno. A partir de cada segmento de 5 cm, se realizaron 2 cortes transversales con grosor de 1 cm (1a) y 2 cm (1b). Inmediatamente, la muestra de 1 cm se realizó un lavado en formol al 10% (3a, se introdujo suavemente 3-4 veces) antes de pasarlo a un contenedor de almacenaje (con formol al 10%). Por otra parte, a la muestra de 2 cm se le realizó un corte longitudinal (1b), se extendió y fijó sobre una base delgada de madera, antes de realizar el lavado (3b) y almacenarlo en un frasco (con formol al 10%). Se mantuvieron dentro de la solución para la fijación del tejido. Se etiquetaron y conservaron por más de 48 h para su posterior análisis histomorfométrico.

Después de las 24 h *postmortem*, de la media canal izquierda de todas unidades experimentales, se obtuvieron muestras de carne del músculo LT (desde la 4ta a la 12va costilla). Se identificaron y colocaron en bolsas de vacío para transportarlas en condiciones de refrigeración (2-8 °C) a las instalaciones del laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne en CIAD Hermosillo, para el análisis de calidad.

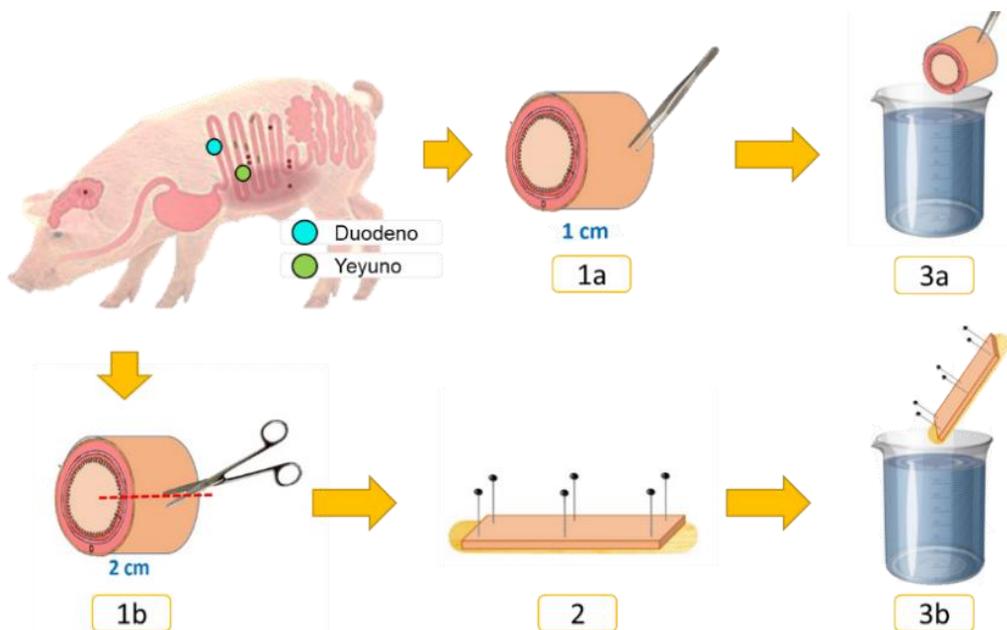


Figura 1. Esquema de colección de muestras de intestino delgado en cerdos para su evaluación histomorfométrica. Elaboración propia.

5.6. Determinación de Aminoácidos

A partir de las muestras congeladas del músculo LT obtenidas durante el sacrificio se realizó la determinación de aminoácidos. Previo al análisis de aminoácidos por HPLC, las muestras se liofilizaron y se molieron en mortero hasta lograr una apariencia muy fina. Para la hidrólisis de la muestra, se pesó 1 mg y se colocó en un tubo para hidrólisis, se le agregó la misma cantidad de ácido tioglicólico (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y se adicionaron 3 mL de HCl 6M (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Posteriormente, se aplicó vacío durante 2 min y se colocó en una placa de calentamiento a 150 °C por 6 h. Después de la hidrólisis, la muestra se secó en su totalidad en un rotavapor a 65 °C. Las muestras secas se reconstituyeron con agua HPLC para eliminar el exceso de HCL de la muestra y se colocaron de nuevo en el rotavapor. Finalmente, la muestra se reconstituyó con 2 mL de buffer de citrato de sodio (0.2 M Na⁺, pH 2.2 ± 0.01) y se almacenó en viales en condiciones de congelación para su posterior análisis.

Se empleó la técnica de cromatografía líquida de alta eficacia para cuantificar los aminoácidos, usando un sistema HPLC Thermo Scientific Accela 600 pump, acoplado a un detector de fluorescencia equipado con una lámpara de deuterio Thermo Scientific Dionex Ultimate 3000 (San José CA. USA.). Para la separación de aminoácidos primarios se empleó una columna capilar esférica de diámetro corto Microsorb (10 cm de longitud y 4.6 mm de diámetro) con partículas de octadecilo de C-18 de fase reversa de 3 micrómetros. Los derivados del OPA se detectaron con el monocromador ajustado en 340 y 455 nm. La sensibilidad se fijó en 1 µA de escala completa. La muestra se introdujo con una válvula equipada con un circuito de 10 µL. Los cromatogramas se registraron y almacenaron en la computadora utilizando el software Chromeleon™ Ink. Chromatography Data System (CDS). Los valores fueron expresados en gramos de aminoácidos por cada 100 g de proteína.

5.7. Análisis Histomorfométrico del Epitelio Intestinal.

Después de tres días de fijación en formol al 10%, se realizó la inclusión del tejido intestinal en

parafina, la tinción con hematoxilina & eosina (H-E) y el montaje de los cortes histológicos en portaobjetos según el protocolo de Rodríguez *et al.* (2004). Las secciones histológicas se examinaron y midieron con el objetivo 10x en microscopio óptico con cámara montada y el programa ImageView 2019. Cada portaobjetos (representa una muestra) tiene 2 a 4 cortes de los cuales se realizarán 10 mediciones para cada variable en ambas secciones intestinales (duodeno y yeyuno).

La longitud de las vellosidades (V) se midió desde su ápice hasta la lámina propia, el ancho se tomará en la base, el punto medio y el ápice de su altura. La profundidad de las criptas (C) se contempló desde su entrada hasta la zona basal y la relación se estimará con la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas (V/C). Los resultados de V y C se expresaron en μm .

5.8. Análisis de la Calidad de la Carne.

Las muestras de carne del músculo LT se mantuvieron conservadas en una cámara de congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se descongelaron en condiciones de refrigeración a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 36 h previas de su análisis de calidad. Después, se asignaron cortes con un orden y grosores específicos (Figura 2) para realizar el análisis proximal, de textura, pérdida por cocción (PPC), evaluación del color, medición de pH, capacidad de retención de agua (CRA) y estudio de estabilidad. La unidad experimental fue la pieza de carne completa.

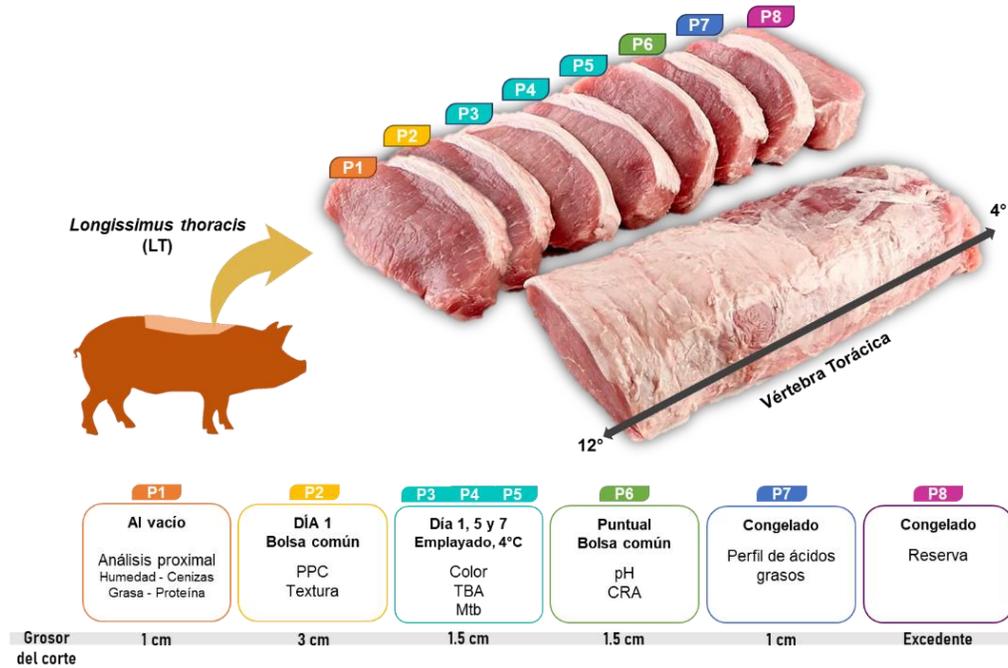


Figura 2. Esquema de corte del músculo *Longissimus thoracis* (LT) para la evaluación de la calidad física y fisicoquímica de la carne. Elaboración propia.

5.8.1. Evaluación de la Calidad Química.

Siguiendo las técnicas de la AOAC (2000), se cuantificó el contenido de humedad, proteína cruda, grasa intramuscular y cenizas la carne de cerdo. La determinación de humedad se realizó mediante el secado de la muestra en una estufa a 100 °C por 16 h (Método 950.46). La determinación del nitrógeno orgánico para estimar el contenido de proteína total se llevó a cabo con la técnica de Micro Kjeldahl (Método 960.52). El análisis de grasa intramuscular de la carne se realizó a partir de muestras deshidratadas y la extracción se hizo con el método de Goldfish (Método 920.39). El contenido de cenizas se midió a partir de muestras previamente pre-incineradas, después se colocaron en una mufla a 550 °C por 12 h (Método 950.153). Se consideraron 2 repeticiones por muestra y los resultados se reportaron en porcentaje (%).

La determinación de ácidos grasos (AG) se llevó a cabo con la adaptación del método de extracción y purificación de Bligh y Dyer (1959). Para la fase de extracción, a 1g de muestra finamente cortada se le adicionaron 10 mL de metanol ($\geq 99.9\%$, BAKER ANALYZED®, grado HPLC) y se homogenizó por 1 min a 11000 rpm (Ultraturrax IKA modelo T25). Se le agregaron 20 mL de

cloroformo ($\geq 99.9\%$, Sigma-Aldrich, A.C.S, grado espectrofotométrico) y se volvió homogenizar durante 2 min. La mezcla se filtró a través de un papel Whatman #1 a un tubo cónico de cristal y se realizaron lavados con 3 mL de cloroformo/metanol (2:1) para recuperación de la muestra restante. Posteriormente, se incorporaron 3 mL de KCl al 0.88% y después, con una pipeta Pasteur se retiró y se desechó la fase superior. Se agregaron 2 mL de agua y 2 mL de metanol para realizar un último lavado y se volvió a retirar la fase superior. Finalmente, se retiró el aire presente en el tubo mediante un flujo de nitrógeno (Grado industrial, PRAXAIR) y se almacenaron en condiciones de congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ cubiertos con aluminio.

Siguiendo el método de Park y Goins (1994) se realizó la derivatización de los AG. Las muestras se colocaron en un baño maría a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la evaporación se realizó con un flujo constante de nitrógeno hasta obtener aproximadamente 150 mg de grasa libre de solventes. Se adicionaron 4 mL de NaOH (FAGALAB) 0.5 N en metanol, se les colocó la tapa (cada vez) para evitar fugas y se calentaron por 10 min a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Después, se dejaron enfriar las muestras antes de agregar 5 mL de trifluoruro de boro al 14% en metanol (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y calentarlas por 5 min a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las muestras se atemperaron nuevamente, se adicionaron 2 mL de hexano y se calentaron por 2 min a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, se incorporaron 5 mL de NaCl saturado (aproximadamente 37 g de NaCl/100 mL de agua destilada) y sulfato de anhidro en polvo. Las muestras se dejaron reposar unos minutos antes de tomar con una micropipeta 1000 μL de la fase cristalina superior y se transferirla a un vial ambar para cromatógrafo al cual se le adicionaron también 1000 μL de hexano. Se empleó la técnica de cromatografía de gases para cuantificar los ácidos grasos, usando un equipo Hewlett Packard Serie 6890 equipado con un detector de ionización de flama (FID) y un automuestreador 6890. Se empleó una columna capilar de sílica fundida Agilent J&W DB-23, con 0.25 mm de diámetro interno, 60 m de una longitud y una película de 0.25 micrómetros de grosor. El programa de temperatura del horno consistió en: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ al iniciar, seguida de un aumento de $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ hasta alcanzar los $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 1 min, seguido de una segunda rampa de $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ hasta llegar a los $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantenida por 5 min. La temperatura del puerto de inyección y del detector se mantuvo a 250 y $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Las muestras se inyectaron (1 μL) en un puerto split con una relación de división de 50:1. Se utilizó helio como gas transportador a una velocidad de 14 cm/s. Los cromatogramas se registraron y almacenaron en la computadora utilizando el software ChemStation.

Los ácidos grasos fueron identificados de acuerdo con el tiempo de retención y patrones de elución

de una mezcla de estándares Supelco F.A.M.E. Mix C4-C24 (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Se reportaron los ácidos grasos individuales, y se calcularon las sumatorias de ácidos grasos saturados (Σ AGS), monoinsaturados (Σ AGM), poliinsaturados (Σ AGP), omega-3 (Σ n-3) y omega-6 (Σ n6). Se estimaron también, las relaciones nutricionales AGM/AGS, AGP/AGS y n6/n3. Los resultados fueron expresados como el porcentaje del total de AG detectados. Se realizó un duplicado por cada unidad experimental.

5.8.2. Análisis Físicoquímico.

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó según el procedimiento de AMSA (2015). Una muestra de carne de aproximadamente 3 g se cortó en forma de cubo (1 cm^3), se colocó en tela de micro-nylon y se introdujo en un tubo de polipropileno cónico. Después, se centrifugó a 2,800 rpm por 5 min a $4\text{ }^\circ\text{C}$ (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). El porcentaje de CRA se calculó de acuerdo a la diferencia de peso de la muestra antes y después de ser centrifugada. La pérdida por cocción (PPC) y el esfuerzo al corte en cocinado (EC) se determinaron según las especificaciones de AMSA (AMSA, 2015). Para la PPC se pesó una chuleta cruda de 3 cm de grosor, posteriormente se cocinó en un sartén eléctrico hasta alcanzar los $71\text{ }^\circ\text{C}$ (se utilizó un termopar tipo T conectado a un lector). La muestra se pesó inmediatamente después del cocinado y el porcentaje de PPC se calculó por la diferencia de peso de la muestra antes y después de la cocción. La chuleta cocinada se enfrió a temperatura ambiente, se guardó en una bolsa común y se refrigeró a $4\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h para la prueba de textura.

El EC se midió utilizando las chuletas cocinadas, se cortaron de 10 a 15 trozos de carne en forma de rectángulos de 3 cm de largo, 1 cm de ancho y 1 cm de alto siguiendo paralelamente las fibras musculares. Después, los trozos de carne se cortaron perpendicularmente a la dirección de las fibras, mediante una navaja Warner-Bratzler montada en un texturómetro (Texture Analyzer T.A.X.T. Plus, USA). La media de los resultados obtenidos de las repeticiones se expresó en kg fuerza.

El valor de pH se determinó con un potenciómetro HANNA HI 2211. Se colocó en un vaso de precipitado una muestra de 3 g de carne finamente cortada en trozos, se le agregaron 20 mL de

agua destilada y se agitó hasta homogenizar. Posteriormente se hizo la lectura de pH para cada triplicado de las unidades experimentales.

5.8.3. Estudio de Estabilidad de la Carne en Refrigeración.

Se evaluó la estabilidad de la carne bajo condiciones de refrigeración, para lo cual, tres chuletas por unidad experimental fueron empleadas individualmente (parafilm) y almacenadas a 4 °C en una cámara refrigerada en presencia de luz fría por siete días para simular las condiciones de anaquel comercial. Las determinaciones de calidad se hicieron al día 0, 5 y 7 de almacenamiento. Se midieron los parámetros de color con un colorímetro Minolta CR-400 (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan) siguiendo las especificaciones de AMSA (2012). El espacio de color que se utilizó fue CIE, donde se evaluó L* (luminosidad), a* (matiz rojo-verde) y b* (matiz amarillo-azul), también se calculó el ángulo de matiz ($\tan^{-1}(b/a)$) y croma o saturación ($((a^*+b^*)/1/2)$). Las determinaciones de color se realizaron en los días 0, 5 y 7, se consideraron cinco repeticiones por muestra. El estado oxidativo de los lípidos se cuantificó por medio de las sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúico (TBARs, mg de malonaldehído por kg de tejido) siguiendo la metodología propuesta por Pfalzgraf *et al.* (1995). Adicionalmente, para determinar la oxidación proteica de la carne, se cuantificó el porcentaje de formación de metamioglobina siguiendo la técnica de Stewart *et al.* (1965). Para leer absorbancia se utilizó un espectrofotómetro Cary 60 UV-Vis de Agilent Technologies, Inc.

5.9. Diseño Experimental y Análisis Estadístico.

El análisis estadístico de los datos se realizó bajo un diseño completamente al azar, mediante un análisis de varianza (ANOVA GLM) para todas las variables de desempeño productivo, características de la canal y calidad de la carne puntual. Para desempeño productivo, el modelo incluyó al peso inicial como covariable. Para las variables del estudio de vida de anaquel en

refrigeración, los datos se analizaron mediante un ANOVA para un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 (tratamiento x tiempo). Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey-Kramer. Las significancias se estimaron a un nivel de probabilidad de $P < 0.05$ y las tendencias a $P < 0.10$ en el error tipo I. Todos los datos fueron analizados en el programa estadístico NCSS 2020.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Desempeño Productivo.

Los resultados de las variables del desempeño productivo de los cerdos suplementados por 31 días en etapa de finalización se muestran en el Cuadro 2. El peso vivo inicial de los animales fue de 80.45 ± 2.38 kg en promedio, similar entre los tratamientos ($P>0.05$), lo que indica una buena aleatorización de los animales dentro de los grupos experimentales. Aunque no se observó efecto de los tratamientos sobre el peso vivo final, los animales más pesados se finalizaron en 119 kg con la adición de OU. Respecto a la GDP, tampoco se encontró efecto de los tratamientos ($P>0.05$). Sin embargo, la GDP aumentó 10% en los animales suplementados con OU, lo que se tradujo en 3 kg más de peso final respecto el testigo (1.15 vs 1.26 kg). En cuanto al consumo diario de alimento, tampoco se influyó por la incorporación de los suplementos en la dieta ($P>0.05$). Debido a que no hubo efectos en la GDP y el CDA, la conversión alimenticia también fue similar entre tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 2. Desempeño productivo de cerdos finalizadores suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva durante 31 días.

Variables ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de <i>P</i>
	Testigo	AF	OU		
Peso inicial, kg	79.38	81.07	80.86	2.92	0.90
Peso final, kg	116.21	116.78	119.25	1.38	0.27
GDP, kg/día	1.15	1.17	1.26	0.01	0.12
CDA, kg/día en BS.	3.12	3.24	3.40	0.07	0.11
CA, kg/día, en BS.	2.71	2.79	2.70	0.07	0.71

¹ Variables: GDP, Ganancia diaria de peso; CDA, Consumo de alimento; CA, Conversión alimenticia; BS: Base seca.

² Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³ Error estándar de la media. n = 10 por tratamiento.

En el presente estudio los datos de PF, GDP, CDA y CA fueron similares entre los tratamientos al final del periodo de la prueba de comportamiento, aunque numéricamente se observaron algunos valores favorables para el tratamiento de OU.

Inicialmente, se esperaba que los parámetros productivos de los animales suplementados con AF fueran significativamente mejores respecto al Testigo. Tal como sucedió con Valenzuela-Grijalva *et al.* (2021) quienes suplementaron con la misma dosis (25 ppm) a cerdos finalizadores Landrace x Yorkshire, y reportaron que incrementó 14% la GDP y mejoró la CA en 9%; sin embargo, ninguna de estas variables se afectó en este estudio. También se han reportado efectos insuficientes en animales suplementados con dosis de 15 ppm de AF en cerdos de finalización (Landrace x Yorkshire x Duroc), mismos que se pueden relacionar a una dosis baja del compuesto como para producir algún efecto por la inclusión del tratamiento (Herrera *et al.*, 2011).

Las inconsistencias obtenidas entre los estudios se pueden atribuir a múltiples factores relacionados con el compuesto activo, la eficiencia de extracción, el tipo de material vegetal y la pureza de los disolventes utilizados (Cervillos-Andrade, 2022; Pérez-Najera *et al.*, 2013). Otro de los efectos que pudieran explicar las diferencias entre los estudios es la influencia racial de los animales utilizados en las pruebas de comportamiento, ya que las características genéticas se relacionan directamente con los rendimientos productivos (Piedro Da Silva, 2013). La raza Duroc, a pesar de presentar características intermedias de canal y deposición de grasa intramuscular, es conocida por ser un cerdo pesado y de menor eficiencia que cruces de la raza Landrace (Matínez-Gamba *et al.*, 2006; Piedro Da Silva, 2013) que fue usada en el estudio de Valenzuela-Grijalva *et al.* (2021). También, es importante considerar la importancia de la curva de crecimiento magro, los animales más pesados tienden a disminuir la eficiencia alimenticia, por lo que pudiera considerarse finalizar a los animales en pesos livianos o iniciar con la suplementación a una edad más temprana.

Por su parte, aunque no tuvo un efecto significativo, el OU incorporado al 2.5% en la dieta de los cerdos estimuló el CDA e incrementó moderadamente la GDP en los cerdos, permitiendo que alcanzaran un PF más pronto que el resto de los animales. Este comportamiento puede asociarse a la presencia de componentes que modifiquen directa o indirectamente las características organolépticas del alimento o bien la digestibilidad del mismo. El OU contiene grandes cantidades de azúcares, algunos de ellos en configuraciones complejas como la hemicelulosa o bien abundantes monosacáridos (Beres *et al.*, 2017), que al incorporarse en el alimento pudieran mejorar su palatabilidad (Abellán *et al.*, 2017). Además, es bien sabido que los cerdos tienen preferencias innatas por los sabores dulces y umami, que al ser incorporados en la dieta promueven el consumo

voluntario al mejorar la aceptación del alimento.

Por otra parte, a los polifenoles se les atribuye acción antimicrobiana, algunos estudios indican la sensibilidad de algunas bacterias patógenas como *E. coli* y *S. aureus* contra extractos de OU por su acción sobre la pared bacteriana de las bacterias gram positivas. Y aunque no están del todo claro sus mecanismos, igualmente se ha evidenciado su acción sobre hongos, virus y protozoarios (Hassan *et al.*, 2019). También, la estructura de los compuestos fenólicos les permite ser una molécula ideal para actuar como donador de electrones e hidrógeno y estabilizar los radicales, por lo que brinda una gran capacidad antioxidante.

Tal como lo menciona Kafantaris *et al.* (2016), donde al utilizar 9% de ensilaje de OU en la dieta de lechones destetados mejoró el CDA y elevó 23.65% la GDP, tuvieron efecto sobre la población bacteriana y la actividad antioxidante aumentó en distintos tejidos. Resultados similares en lechones se observaron sobre el estado antioxidante de órganos relacionados con el metabolismo de los nutrientes por la inclusión de 5% OU (Sanda *et al.*, 2019). Esto posiblemente se relacione con una mejor salud del tracto digestivo y mayor digestibilidad de los alimentos, que a su vez impacta en la capacidad productiva de los animales.

Es importante mencionar que la inclusión de dosis altas de compuestos fenólicos (1500 ppm/kg) y las dietas altas en fibra pueden resultar contrariamente en la disminución del consumo de alimento (Choi & Kim, 2019; Taranu *et al.*, 2018). Sin embargo, en este estudio esta afectación no ocurrió, el contenido de fibra en la harina de OU (24%) y las dosis de inclusión de los suplementos se consideraron para no sobrepasar los niveles de tolerancia del cerdo.

Si bien la generación de tejido magro es muy atractiva a través de una elevada GDP, la capacidad del animal de ser eficiente es de mayor relevancia para la rentabilidad de la producción pecuaria. Sin embargo, la utilización de OU, aunque no influyó en la CA, permitió que los animales alcanzaran el peso final en un periodo de tiempo más corto. Lo que resulta beneficioso para la economía del sistema de producción, pues una mayor utilidad se obtiene al disminuir del tiempo de uso de las instalaciones, el costo de alimentación y costos productivos. Así mismo, también puede resultar atractivo como estrategia para incrementar el apetito voluntario de animales que se encuentren en situaciones que comprometan su bienestar y depriman el consumo, tales como enfermedades, estrés por manejo o ambiental. Además, el aprovechamiento de los biorresiduos ayuda a mejorar la economía del sector agropecuario, mitigar la contaminación y contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente.

6.2. Perfil Hormonal de HC e IGF-1

Los resultados de los niveles hormonales séricos de los cerdos suplementados con AF y OU se presentan en el Cuadro 3. No se observaron cambios significativos en las concentraciones de HC ó IGF-1 ($P>0.05$). Esto contrasta con lo reportado por Devi *et al.* (2015), quienes, con la inclusión de extractos de plantas en cerdos, obtuvieron un aumento de los niveles de IGF-1 con dosis de 0.05-0.15%, efecto que también se vio reflejado en la GDP. De la misma manera, en vaquillas Holstein al infundir 100-500 mg de AF obtuvieron incremento en la HC (Gorewit, 1983). Las diferencias generadas entre los estudios pueden deberse a factores como el origen racial, la etapa de crecimiento o las dosis y tiempos de exposición. Sin embargo, es importante mencionar que la incorporación de los tratamientos no afectó los parámetros hormonales, permitiendo que se encuentren dentro de los valores normales para la especie.

Cuadro 3. Perfil hormonal de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Variables ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de <i>P</i>
	Testigo	AF	OU		
HC (ng/mL)	0.04	0.21	0.07	0.02	0.41
IGF-1 (ng/mL)	158.75	129.98	105.54	32.57	0.44

¹ Variables: HC, Hormona del crecimiento; IGF-1, Factor de crecimiento insulínico 1.

² Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³ Error estándar de la media. n = 5 por tratamiento.

6.3. Perfil de Aminoácidos Libres en Músculo LT

Los valores individuales de los aminoácidos libres en musculo LT de cerdos suplementados con AF y OU se muestran en el Cuadro 4. No se observaron cambios por la incorporación de los tratamientos en las concentraciones de aminoácidos ($P>0.05$), a excepción de serina que tendió a disminuir ($P=0.09$). Los valores promedios fueron similares para todos los grupos. Aunque no fue significativo, se observó una reducción en aminoácidos como serina, histidina, glicina y treonina

con AF y OU, además de tirosina y lisina para OU. Por otro lado, numéricamente aumentó la concentración del resto de los aminoácidos respecto al grupo control, siendo los más destacables el ácido glutámico y la arginina.

Estos resultados contrastan con los de Wang *et al.* (2021, 2022), quienes al suplementar cerdos finalizadores con ACG (0.04, 0.08%) por 35 días obtuvieron un incremento significativo en el perfil de aminoácidos séricos en comparación con el grupo control. Lo anterior también coincidió con el aumento de aminoácidos en músculo esquelético, sin embargo, en dosis bajas (0.02%) disminuyeron en el músculo *Longissimus dorsi*, pero no en el *Biceps femoris*. Factores como el genotipo, etapa de crecimiento o la dieta influyen fuertemente en el metabolismo de los aminoácidos libres (Palma-Granados, 2017). Por otra parte, recientemente se ha prestado atención a los patrones de expresión de genes involucrados en los transportadores de aminoácidos y la síntesis proteica, dado que son un indicador importante del desarrollo de masa muscular y del valor nutricional de la carne (Duan *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2021). Mientras que, en aspectos de calidad la presencia de ciertos aminoácidos puede favorecer aspectos sensoriales, como el ácido glutámico y la arginina, compuestos con anillo aromático relacionados con el sabor umami de la carne de cerdo (Zhang *et al.*, 2010).

Al momento, son escasos los estudios que involucren el efecto de los fitoquímicos sobre el perfil de aminoácidos libres. Sin embargo, se ha descrito ampliamente la capacidad de estos compuestos para facilitar el anabolismo y la fijación de las proteínas a través de procesos metabólicos eficaces que favorezcan el desarrollo muscular. Mismo que podría depender de la concentración de aminoácidos libres disponibles y de sus transportadores, aunque este mecanismo sigue siendo ambiguo (Wang *et al.*, 2022). Por lo que estudios que involucren la expresión de genes relacionados y una muestra que no limite la representatividad puede ofrecer mayor comprensión de los efectos de la suplementación con AF y OU sobre el perfil de aminoácidos libres.

Cuadro 4. Perfil de aminoácidos libres a partir del músculo *Longissimus thoracis* de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Variables ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de <i>P</i>
	Testigo	AF	OU		
Ácido aspártico	8.93	9.31	10.63	0.63	0.24
Ácido glutámico	14.74	16.84	16.06	1.08	0.43

Serina	4.62	3.07	3.13	0.45	0.09
Histidina	6.08	4.57	4.61	0.80	0.38
Glicina	2.82	2.71	2.74	0.13	0.83
Treonina	11.44	9.25	9.94	1.54	0.64
Arginina	3.62	4.44	4.19	0.39	0.38
Alanina	4.45	4.59	4.90	0.24	0.45
Tirosina	2.70	2.71	2.60	0.25	0.94
Metionina	3.13	3.16	3.31	0.11	0.52
Valina	3.78	3.87	4.18	0.26	0.56
Fenilalanina	3.24	3.39	3.52	0.13	0.36
Isoleucina	3.44	3.60	3.79	0.18	0.42
Leucina	6.65	6.89	7.25	0.33	0.49
Lisina	12.49	13.00	12.22	0.46	0.48

¹ Variables: Aminoácidos expresados en gramos de aminoácidos por cada 100 g de proteína.

² Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³ Error estándar de la media. n = 3 por tratamiento.

6.4. Histomorfometría de Epitelio Intestinal

Antes de realizar las mediciones histológicas de las vellosidades del epitelio intestinal y del procesamiento estadístico de la información, se realizó una evaluación visual exhaustiva del epitelio intestinal para las porciones de duodeno y yeyuno de los cerdos de cada tratamiento, con el objetivo de describir los cambios en la morfología de las vellosidades, su aspecto general, integridad, uniformidad y presencia de anomalías evidentes. Las Figuras 3 y 4, muestran fotografías representativas del epitelio intestinal para cada tratamiento. En el epitelio intestinal de los animales Testigo (Figura 3A y 4D), se observaron vellosidades con mayor variabilidad en altura y ancho en ambas secciones del intestino. La longitud fue mayor en el duodeno y disminuyó en el yeyuno. Además, se observó la falta de revestimiento epitelial en la mayoría de las muestras, sin que se debiera a daño mecánico, y los bordes de la lámina propia no estaban bien delimitados. Por otro lado, en el tratamiento con AF (Figura 3B y 4E) se evidenciaron cambios notables en las

vellosidades. Fueron las de mayor altura entre todos los tratamientos, mantuvieron un ancho uniforme desde la base hasta la parte media, ensanchándose posteriormente y volviendo a disminuir de tamaño en la punta, lo que les dio una apariencia de diamante o de hongo en la parte superior. Esta característica se observó en ambas secciones del intestino, siendo más frecuente en el yeyuno. Se observó desprendimiento del epitelio intestinal en la mayoría de las laminillas, formando cúmulos en el centro de la luz intestinal. Sin embargo, la lámina propia, desprovista de enterocitos, estaba bien delimitada.

En cuanto al tratamiento con OU (Figura 3C y 4F), se observaron diferencias evidentes en la morfología de las vellosidades en ambas secciones intestinales. Además de tener mayor altura que el grupo Testigo, fueron las más anchas desde la base hasta la punta, lo que les dio una apariencia más rectangular. Entre los tres tratamientos, las vellosidades de OU mostraron el menor desprendimiento del epitelio intestinal y una mayor integridad de la lámina propia en general.

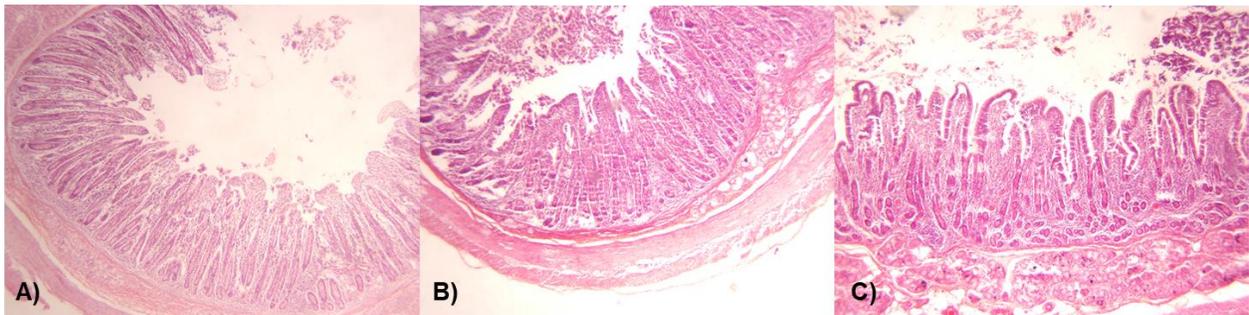


Figura 3. Corte histológico de duodeno de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva. HE 4x.

Testigo (T, n=5): Dieta basal (DB) en panel A; AF (n=5): DB + 25 ppm de AF en panel B; OU (n=5): DB + 2.5% de OU/en panel C.

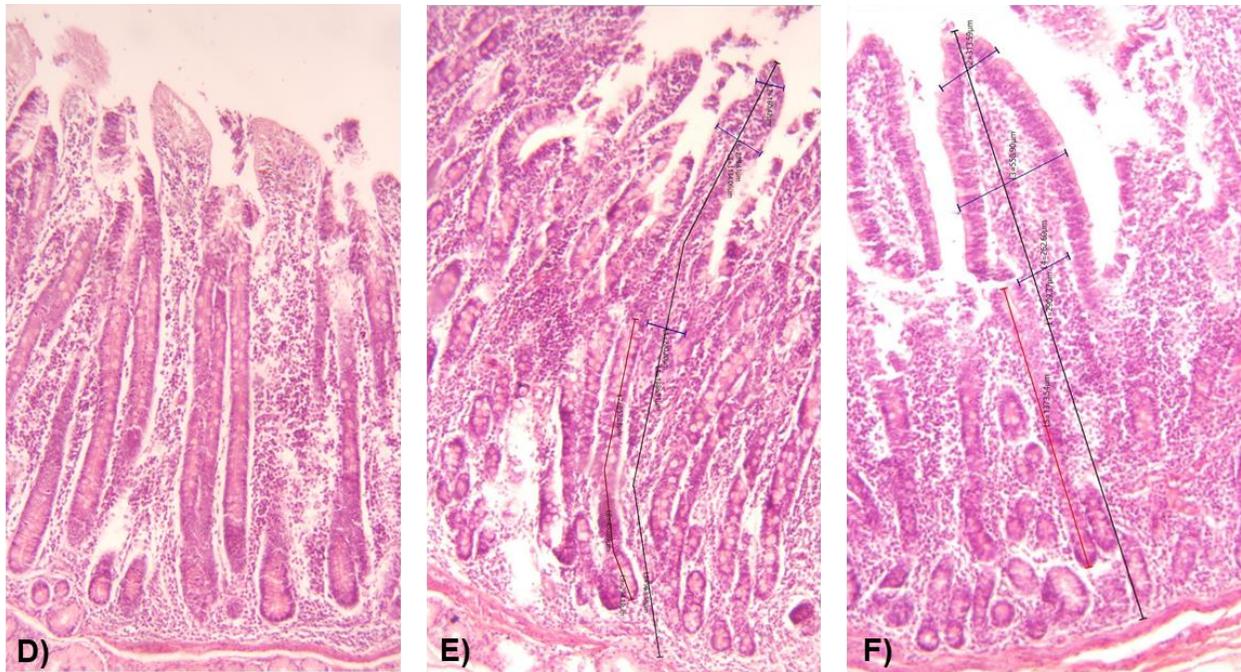


Figura 4. Corte histológico de duodeno de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva. HE 10x.
 Testigo (T, n=5): Dieta basal (DB) en panel D; AF (n=5): DB + 25 ppm de AF en panel E; OU (n=5): DB + 2.5% de OU/en panel F.

En el Cuadro 5 se presentan las mediciones de las vellosidades intestinales en las secciones de duodeno y yeyuno de los cerdos suplementados. Los resultados indican que la incorporación de AF y OU tuvo un efecto significativo en la histomorfometría de ambas secciones intestinales ($P < 0.05$). En comparación con el grupo Testigo, se observó un aumento del 35% en la longitud de las vellosidades duodenales con AF y un aumento del 16.3% con OU ($P < 0.05$). Además, hubo un ensanchamiento de la base en un 27.2% con OU y en un 16.7% con AF ($P < 0.05$), así como un ensanchamiento de la punta de la vellosidad en un 17% con OU y un 2.6% con AF ($P < 0.05$). Por otro lado, la relación V:C fue mayor en el tratamiento de AF (1.77), seguido por OU (1.55), lo que indica un incremento en el área de superficie de las vellosidades intestinales del 41.6% y 24%, respectivamente. Además, se encontró un efecto significativo en las vellosidades del yeyuno ($P < 0.05$). En comparación con el grupo testigo, se observó un incremento del 6.4% en el ancho de la base con AF y del 22% con OU. Asimismo, el ancho de la punta aumentó en un 15.5% con AF y en un 19.3% con OU.

Estos resultados concuerdan con los de Zhang *et al.* (2018), quienes informaron que con suplementación de ACG (250, 500 y 1000 ppm) durante 28 días en lechones, aumentó la altura de

las vellosidades duodenales, así como su relación V:C, y disminuyó la profundidad de las criptas. En el yeyuno, se observó incremento de la altura de las vellosidades, mientras que en el íleon se favoreció tanto la altura y como la relación V:C. En general, se observó un aumento lineal en la altura de las vellosidades a medida que se incrementaba la dosis de ACG. De manera similar, la suplementación con otros tipos de fitoquímicos como el ácido gálico, las isoflavonas de soja, el orégano, la canela entre otros, ha demostrado favorecer la altura de las vellosidades intestinales, su relación V:C y la profundidad de las criptas en lechones (Modina *et al.*, 2019).

El incremento de la longitud y el ancho de las vellosidades obtenidas en este estudio puede atribuirse a la suplementación con AF y OU, debido a su potencial para modificar el epitelio intestinal a través de mecanismos antioxidantes y la modulación de la microbiota (Kafantaris *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2020). Por otro lado, la relación V:C es un indicador importante para evaluar la salud intestinal, ya que refleja un equilibrio favorable en la renovación celular, la digestión de los nutrientes y la capacidad de absorción del intestino delgado (Puente *et al.*, 2019). Esto coincide con los resultados de este estudio, donde se observa un incremento en la relación V:C y la longitud de las vellosidades en los cerdos suplementados con OU, los cuales presentan vellosidades más anchas y altas en comparación con el grupo Testigo.

Si bien la evaluación visual de la morfología de las vellosidades intestinales y las mediciones cuantitativas proporcionan información importante sobre la apariencia, estructura y posibles anomalías en el revestimiento intestinal. La atención en la suplementación con compuestos fenólicos suele centrarse en su efecto antioxidante en la barrera intestinal o la modulación de la microbiota, especialmente en las etapas tempranas de los cerdos (destete y crecimiento). Sin embargo, los efectos fisiológicos implicados en los cambios histomorfométricos de las vellosidades intestinales, las modificaciones en la composición de la microbiota y la mejora de la barrera intestinal pueden ser explicados por diversos mecanismos.

Cuadro 5. Mediciones histomorfométricas de duodeno y yeyuno de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Variables ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de P
	Testigo	AF	OU		
DUODENO 10x					
Longitud, µm	1,705.9 ^a	2,302.9 ^b	1,988.1 ^{ab}	101.1	0.00
Ancho base, µm	386.5 ^a	451.1 ^{ab}	491.6 ^b	26.1	0.04

Ancho medio, μm	448.0	479.1	511.8	24.6	0.23
Ancho punta, μm	392.6 ^{ab}	382.5 ^a	459.2 ^b	19.7	0.03
Profundidad cripta, μm	1,379.0	1,303.6	1284.7	46.9	0.35
Relación V:C	1.25 ^a	1.77 ^b	1.55 ^{ab}	0.04	0.00
YEVUNO 10x					
Longitud, μm	1,534.8	1,878.5	1,818.7	129.3	0.17
Ancho base, μm	359.5 ^a	336.4 ^a	438.3 ^b	15.0	0.00
Ancho medio, μm	439.8	384.9	457.3	33.2	0.31
Ancho punta, μm	334.2 ^{ab}	282.4 ^a	398.9 ^b	19.3	0.00
Profundidad cripta, μm	1,133.6	1,322.6	1,361.6	84.7	0.16
Relación V:C	1.39	1.44	1.34	0.07	0.84

¹ Variables: Relación V:C es longitud de la vellosidad entre la profundidad de la cripta. ^{ab} Medias con diferente literal dentro de renglón, indican diferencia (P<0.05)

² Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³ Error estándar de la media. n = 5 por tratamiento.

Durante la vida productiva del cerdo, ocurren procesos oxidativos normales que son mediados por especies reactivas de oxígeno (EROs). Sin embargo, cuando se prioriza la optimización de los recursos y la producción, los animales se ven afectados directa o indirectamente al enfrentarse a situaciones de estrés debido al confinamiento, patologías, manejo o alimentación. Las moléculas reactivas que participan en este proceso metabólico son principalmente el oxígeno (O_2) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y tienen la capacidad de causar daño en diversas macromoléculas, el ADN, los AGP y los aminoácidos (Frontanela *et al.*, 2010). En este sentido, muchos compuestos fenólicos han demostrado tener propiedades antioxidantes que, a nivel digestivo, pueden neutralizar los EROs y reducir el estrés oxidativo que daña las células del intestino y afecta negativamente la estructura de las vellosidades. Se ha informado que los niveles de enzimas antioxidantes como GSH-Px, SOD, CAT, NAD (P) H y T-AOX, así como el ARNm de sus genes asociados, aumentan con la incorporación de OU, RES, ACG, AF y ácido vanílico en la dieta de los lechones (Chen *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2022; Kafantaris *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2018). En particular, la capacidad de los compuestos fenólicos para capturar radicales libres y actuar como ligandos inactivadores parece ser un factor clave en la salud intestinal. Sin embargo, también se ha informado que, dependiendo de la concentración de la dosis, el pH y la presencia de metales como el cobre (Cu) y el hierro (Fe^{2+} o Fe^{3+}), que catalizan reacciones oxidativas, los compuestos fenólicos pueden llegar a ser prooxidantes (Castañeda-Arriaga *et al.*, 2018).

Por otro lado, la microbiota es indispensable debido a su participación en diversos procesos de digestión y metabolismo, absorción de nutrientes, regulación del sistema inmunológico, producción de neurotransmisores y mantenimiento de la barrera intestinal (Yang & Liao, 2019). Las sustancias derivadas de los metabolitos intestinales, como los AG de cadena corta y las bacteriocinas, promueven el desarrollo intestinal. Sin embargo, cuando la microbiota se ve alterada, puede provocar efectos disfuncionales, dañar el epitelio intestinal, causar inflamación y estrés oxidativo (Campbell *et al.*, 2013).

Diversos estudios han demostrado la capacidad de los compuestos fenólicos para modular el comportamiento de los microorganismos en el tracto digestivo. Se observó que con la suplementación de OU, ACG y ácido gálico, estos compuestos pueden inhibir a *Escherichia coli* y *Campylobacter jejuni*, microorganismos potencialmente patógenos. Además, el ACG y el ácido vanílico incrementaron las poblaciones de *Lactobacillus* y *Firmicutes*, que proporcionan una buena fuente de energía, así como algunos géneros de Lachnospiraceae que se correlacionan negativamente con citoquinas inflamatorias y niveles de TBA. Sin embargo, también se observó un aumento de la familia Prevotellaceae, que se relaciona positivamente con citoquinas inflamatorias y niveles altos de TBARS, con la suplementación de ácido vanílico (Cai *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2022; Kafantaris *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2018). Aunque en el presente estudio no se evaluó la microbiota, los resultados de otros estudios pueden ayudar a explicar un posible mecanismo de acción sobre las vellosidades intestinales.

Por otro lado, las proteínas involucradas en la unión estrecha, las células epiteliales y la capa de moco generan un ambiente propicio dentro de la vellosidad para la digestión química y actúan selectivamente formando una barrera contra la absorción de endotoxinas y patógenos (Yang & Liao, 2019). Sin embargo, la inflamación crónica causada por la sobreproducción de EROs o la disfunción de la microbiota intestinal pueden perturbar la función de la barrera intestinal y afectar las uniones estrechas. Algunos estudios sobre la suplementación con AF, RES, ACG y ácido vanílico han mostrado un aumento significativo o parcial de la expresión proteica de zonula occludens 1 y 2, mucina 1 y 2, oclusión y ocludina, que son proteínas indispensables para la función de la barrera del tracto digestivo (Chen *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2022; Sandoval-Ramírez *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2018).

Los resultados obtenidos en este estudio son relevantes, ya que hasta el momento no existen investigaciones que reporten el efecto de la incorporación de compuestos fenólicos como AF y OU sobre la histología intestinal en cerdos finalizadores. Se sugiere que estos compuestos promueven

cambios favorables en la morfología de las vellosidades intestinales, como un aumento en la longitud, anchura y relación C:V de las vellosidades. Estos efectos pueden atribuirse a los mecanismos de acción antioxidante y de modulación de la microbiota intestinal de los compuestos fenólicos, según han reportado diversos estudios realizados mayormente en lechones. Sin embargo, es necesario profundizar en los mecanismos involucrados, así como explorar nuevas dosis y tiempos de exposición. Además, sería favorable incluir estudios sobre la capacidad antioxidante, la microbiota, las proteínas y los genes asociados a la mejora de la salud intestinal en cerdos, ya que pueden estar relacionados con la mejora del desempeño productivo.

6.5. Calidad de la Canal.

Las características y calidad de la canal de los cerdos suplementados con AF y OU se muestran en el Cuadro 6. Para ninguna de las variables evaluadas se observó efecto por la incorporación de los tratamientos en la dieta, pero se marcó una tendencia para rendimiento de la canal y el marmoleo en el músculo LT. De manera específica, el peso de canal caliente y fría fue similar entre tratamientos ($P>0.05$), al igual que los valores de pH ($P>0.05$). En contraste, los rendimientos de la canal caliente y canal fría tendieron a mejorar por la inclusión de AF ($P=0.08$). El marmoleo mostró tendencia a reducirse por la suplementación de harina de OU ($P=0.08$), disminuyendo en 2.7% de la presencia de la grasa intramuscular. Mientras que, en el espesor de grasa dorsal ($P>0.05$), los valores se encontraban entre 7-11% por arriba del tratamiento testigo. Por otra parte, no se observó efecto de los tratamientos sobre el área del ojo de la costilla ($P>0.05$), ya que sólo hubo un aumento de 5-6% en el área del músculo LT para AF y OU.

Cuadro 6. Calidad de la canal de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Variables	Tratamientos ¹			EEM ²	Valor de <i>P</i>
	Testigo	AF	OU		
Peso canal caliente (kg)	96.34	96.89	97.67	0.53	0.61
Peso canal fría (kg)	95.17	95.94	96.32	0.53	0.72

pH 24 h	5.52	5.50	5.52	0.02	0.95
Rendimiento canal caliente (%)	82.47	82.57	81.26	0.42	0.08
Rendimiento canal fría (%)	81.62	82.05	80.42	0.43	0.08
Área del ojo de la costilla, cm ²	56.96	60.33	60.08	1.15	0.12
Espesor de grasa dorsal, mm	9.87	11.00	10.63	1.71	0.89
Marmoleo (USDA)	2.63	3.06	2.56	0.28	0.09

¹Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

²Error estándar de la media. n = 10 por tratamiento.

Se esperaba que la inclusión de 25 ppm de AF en la dieta de los cerdos favoreciera moderadamente los rendimientos de tejido magro de la canal y disminuyera la deposición de grasa dorsal e intramuscular. Debido a que el comportamiento de AF sobre las variables de la canal parece actuar de forma similar a los fármacos agonistas β AA, a los cuales se les atribuye efecto anabolizante y lipolítico. Esta posibilidad se debe principalmente a la similitud estructural del AF y los β AA a las catecolaminas endógenas (dopamina, norepinefrina y epinefrina), hormonas naturales del organismo animal (Beermann, 2002). En cerdos finalizadores, el uso de compuestos β AA también llamados “repartidores de energía”, han demostrado beneficios por su capacidad de re direccionar los nutrientes hacia la deposición de masa muscular magra y estimular el crecimiento (Alves *et al.*, 2018; Panisson *et al.*, 2020).

Este mecanismo podría explicar por qué se esperaba que la incorporación de AF en la dieta contribuyera a disminuir la deposición de grasa y aumentar la masa muscular magra de la canal, efectos que se esperan de un promotor de crecimiento. Tal como en el estudio de Valenzuela-Grijalva *et al.* (2021) que al incluir AF en dosis de 25 ppm/kg se disminuyó en 53% el EGD y aumentó 19% el AOC, éste último relacionado con cambios interesantes sobre las fibras musculares. Como se mencionó anteriormente, algunos factores que pueden influir en el estudio son el origen racial de los animales, el momento de la curva de retención de proteínas y el nivel de proteína cruda en la dieta, lo que podría haber condicionado parcialmente los resultados (Ramos-Canché, 2020).

Por su parte, al incluir 2.5% de harina de OU en la dieta, se disminuyó (tendencia) el grado de marmoleo, lo que es consistente con el ligero aumento en el AOC. Este fenómeno se puede deber a la presencia de algunos compuestos fenólicos (ácidos ferúlico, clorogénico y resveratrol)

presentes en la matriz del orujo, relacionados con la síntesis de proteínas o el metabolismo lipídico (Peixoto *et al.*, 2018). Recientemente, se ha evidenciado que el ACG mejora significativamente el perfil de aminoácidos libres en el suero y permite la translocación de estos al músculo esquelético a través del aumento en la expresión de transportadores de aminoácidos (Wang *et al.*, 2022). Por otra parte, tanto ACG como resveratrol han influido sobre los niveles de expresión de ARNm de factores reguladores miogénicos y los tipos de fibras musculares en cerdos (Meng *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Además, resveratrol ha demostrado inhibir competitivamente varias fosfodiesterasas, lo que produce un aumento en la concentración de AMPc (Rucker *et al.*, 2014) que actúa como mensajero en la activación de las principales vías energéticas causantes de la hidrólisis de los triglicéridos. Por lo tanto, la acción conjunta de algunos compuestos del OU además de su capacidad moduladora a nivel intestinal, puede en consecuencia producir un potencial efecto anabolizante sobre el animal.

Desde el punto de vista para la industria cárnica, el grado de marmoleo podría influir en las preferencias de consumo, sin embargo, los valores de este estudio se encuentran dentro del rango óptimo de aceptación para la carne fresca de cerdo (1.5 a 3.5 de marmoleo) (Ventanas *et al.*, 2007). Esto es importante ya que la inclusión de AF y OU en la dieta parece no afectar drásticamente la deposición de la grasa intramuscular y, por lo tanto, podrían favorecer otros parámetros sin afectar las características sensoriales de la carne, generando mejores condiciones para venta.

6.6. Análisis de la Calidad de la Carne.

6.6.1. Calidad Química

El Cuadro 7 muestra los resultados de la composición química de la carne de cerdos suplementados con AF y OU. Ninguno de los tratamientos en la dieta afectó las variables de humedad, proteína, grasa intramuscular, cenizas y extracto libre de nitrógeno (carbohidratos solubles) ($P>0.05$). Todos los valores se encuentran dentro del rango promedio de la composición nutricional de la carne de cerdo según la USDA (2019) y LATINFOODS (2010).

Específicamente, los valores de humedad fueron muy similares entre los tratamientos ($P>0.05$).

Esto coincide con los resultados de González-Noriega (2016) que al incluir AF en dosis de 25 ppm/kg obtuvo porcentajes similares a los de este estudio, al igual que González-Torres (2021) cuando incorporó el 15% de bagazo de uva como parte de una dieta ofrecida a cerdos finalizadores. La proteína tampoco se afectó por la adición de los suplementos ($P>0.05$) y los valores registrados coinciden con lo obtenido otros estudios (González-Noriega, 2016; González-Torres, 2021; Vlaicu *et al.*, 2019). Sin embargo, también contrasta con un estudio de Zhang *et al.* (2015) donde aumentó en 6.3% la proteína cruda respecto al grupo testigo de la carne de cerdos finalizadores suplementados con resveratrol (300 y 600 ppm). Esto abre la posibilidad de modificar los parámetros de la composición química de la carne a través de la suplementación con compuestos fitoquímicos.

Por otra parte, algunos autores mencionan que, en la composición química al disminuir el porcentaje de proteína, se da un aumento en la presencia de grasa (Daszkiewicz *et al.*, 2005; González-Torres, 2021), esta relación se observa de manera específica en el tratamiento de AF. Es importante mencionar que al suplementar con β AA como la ractopamina, las casas comerciales recomiendan dietas que partan del 16% de proteína cruda, para lograr una disponibilidad adecuada de aminoácidos que sustenten la formación del tejido magro (Mariezcurrana-Berasain *et al.*, 2012; Webster *et al.*, 2007). Por lo anterior, el efecto anabolizante de AF y el contenido de proteína en músculo pudo haber estado condicionado, debido a que el porcentaje de la dieta utilizada en este estudio fue del 14%.

Cuadro 7. Composición química de carne de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Variables ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de P
	Testigo	AF	OU		
Humedad, %	72.72	72.86	72.89	1.40	0.96
Proteína, %	22.52	21.87	22.43	1.20	0.45
Grasa intramuscular, %	1.91	2.09	1.77	0.60	0.72
Ceniza, %	1.15	1.14	1.15	0.01	0.99
ELN, %	1.70	2.04	1.76	0.75	0.71

¹ Variables: ELN, Extracto libre de nitrógeno (estimados por diferencia). Expresados en base húmeda y porcentaje.

² Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³ Error estándar de la media. n = 8 por tratamiento.

La grasa intramuscular, aunque no fue significativa ($P>0.05$), numéricamente mostró reducción del 7.3% para OU respecto al testigo, lo que coincide con la evaluación de marmoleo de las canales suplementadas con ese tratamiento. Esto contrasta con lo obtenido por González-Torres (2021) quien obtuvo un valor alto de grasa (3.8%) en la carne de cerdos alimentados con bagazo de uva. Por otra parte, para AF también se esperaban valores bajos en la grasa, debido al efecto lipolítico que le confiere su parecido estructural a los β AA, el cual se ha reportado ampliamente sobre las características de la canal (Herrera *et al.*, 2011; Valenzuela-Grijalva *et al.*, 2021).

Hay que destacar que la grasa intramuscular tiene un fuerte impacto sobre la calidad de la carne, le otorga el sabor, el aroma característico, influye en la jugosidad, la terneza y la vida de anaquel (Daszkiewicz *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2015). Puede estar condicionada por la alimentación de los animales (dietas bajas en proteína que favorecen el aumento de la grasa en la canal y la carne) (Ramos-Canché, 2020) o la eficiencia de la raza y su capacidad para desarrollar tejido magro y depositar grasa intramuscular (Piedro Da Silva, 2013; Plastow *et al.*, 2005). Si bien, un alto nivel de grasa puede ser conveniente para las diversas aplicaciones tecnológicas y sensoriales para la producción de productos cárnicos (Pérez, 2013), una carne más magra podría satisfacer la demanda de los consumidores que buscan alimentos más saludables (Grunert *et al.*, 2004; Ijaz *et al.*, 2021). Los valores de cenizas estos son el indicador directo del contenido de minerales en el alimento, en este estudio resultaron similares entre tratamientos ($P>0.05$), mismos que se encontraban dentro del rango establecido para la carne de cerdo. Mientras tanto, el contenido de carbohidratos solubles (calculados por diferencia) no se afectaron por la inclusión de AF o harina de OU ($P>0.05$).

Diversos compuestos fitoquímicos se han utilizado como potenciadores de las características organolépticas y los parámetros físicoquímicos en alimentos (Abellán *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2022). Por su origen natural suelen generar mayor aceptación por los consumidores debido a la percepción de ser orgánicos, seguros y saludables para su consumo (Serra *et al.*, 2021). Sin embargo, los estudios de AF y OU sobre la calidad química de la carne de cerdo son limitados, pues se enfocan mayormente en el potencial anabólico, capacidad antioxidante y su efecto modulador en el intestino y/o de la microbiota.

6.6.2. Perfil de Ácidos Grasos

Los valores individuales de ácidos grasos de la grasa intramuscular del LT de cerdos suplementados con AF y OU se muestran en el Cuadro 8. Los principales AG saturados fueron el ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0); el ácido oleico (C18:1 *cis*) fue el más abundante de los AG monoinsaturados y de los AG poliinsaturados el ácido linoleico (C18:2 *cis*) fue el de mayor concentración. No se observaron cambios por la incorporación de los tratamientos en las concentraciones de AG individuales, a excepción del isómero *trans* del ácido linoleico (C18:2 *trans*, $P < 0.05$) y del ácido mirístico (C14:0, $P = 0.08$).

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos (%) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus thoracis* de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Ácido graso	Tratamientos ¹			EEM ²	Valor de <i>P</i>
	Testigo	AF	OU		
C10:0	0.09	0.10	0.09	0.00	0.58
C12:0	0.11	0.09	0.08	0.02	0.40
C14:0	1.58	1.25	1.20	0.12	0.08
C14:1	0.03	0.03	0.03	0.00	0.97
C15:0	0.06	0.04	0.05	0.01	0.62
C16:0	25.27	25.23	24.96	0.23	0.62
C16:1	3.08	3.01	2.80	0.13	0.33
C17:0	0.17	0.19	0.21	0.02	0.34
C17:1	0.14	0.15	0.16	0.01	0.42
C18:0	14.05	14.41	14.52	0.32	0.56
C18:1 <i>trans</i>	0.36	0.36	0.38	0.03	0.89
C18:1 <i>cis</i>	42.28	42.50	41.88	0.86	0.87
C18:2 <i>trans</i>	0.17 ^a	0.15 ^{ab}	0.13 ^b	0.01	0.05
C18:2 <i>cis</i>	7.98	7.92	8.83	0.54	0.42
C18:3 ω6	0.07	0.08	0.08	0.01	0.50
C18:3 ω3	0.24	0.24	0.27	0.01	0.22
C20:0	0.24	0.23	0.25	0.01	0.15
C20:1 ω9	0.68	0.70	0.70	0.03	0.81
C20:2	0.62	0.50	0.42	0.12	0.49

C20:3 ω6	0.26	0.27	0.29	0.02	0.56
C20:4 ω6	1.71	1.75	1.81	0.15	0.91
C22:0	0.32	0.32	0.35	0.02	0.70
C24:0	0.21	0.21	0.22	0.02	0.97
C26:6 ω3	0.30	0.28	0.31	0.04	0.82

¹Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento. ^{ab} Medias con diferente literal dentro del renglón, indican diferencia (P<0.5).

²Error estándar de la media. n = 8 por tratamiento.

Específicamente, se observó una disminución del 23.5% en el C18:2 *trans* con el tratamiento de OU y del 11.8% con AF, en comparación con el grupo Testigo. Estos resultados contrastan con varios estudios anteriores que reportaron un aumento en la concentración de éste AG al suplementar con OU roja (3.5-7% durante 86 días), extracto de semilla de uva (0.005-0.02% de proantocianidina durante 49 días) y ensilado de OU (9% en lechones durante 30 días) (Kafantaris *et al.*, 2016; Meng *et al.*, 2022; Trombetta *et al.*, 2019). Por otro lado, al suplementar con 25 ppm de AF en cerdos finalizadores, el valor de C18:2 *trans* no se vio modificado (González-Noriega, 2016).

A pesar de que en este estudio no se observaron cambios evidentes en los AG individuales, diversos autores han reportado modificaciones en el perfil lipídico. Algunos de estos ácidos son el cáprico (C:10), palmítico (C:16), laurico (C:12), linoleico (C18:2 t, C18:2 t), oleico (C18:1), alfa-linolénico (18: 3 n-3), araquidónico (C20:4), eicosapentaenoico (20: 5 n-3), docosahexaenoico (22: 6 n-3), entre otros. Sin embargo, la variabilidad en los porcentajes de ácidos grasos es inconsistente en los estudios previos (Kafantaris *et al.*, 2016; Meng *et al.*, 2022; Peiretti *et al.*, 2015; Trombetta *et al.*, 2019). Aun así, es importante mencionar que los valores de AG observados en este estudio se encuentran dentro de los parámetros considerados normales para la carne de cerdo (USDA, 2019). Por otra parte, las sumatorias de AG y sus relaciones nutricionales se muestran en el Cuadro 9. No se observaron efectos significativos en ninguna de las sumas parciales de AG debido a los tratamientos aplicados (P>0.05), y todos los valores son muy similares entre sí. Esto coincide parcialmente con un estudio realizado por Taranu *et al.* (2018), quienes también encontraron que la suplementación con un 5% de extracto de OU durante 28 días en cerdos no afectó los valores de AGS y AGM. Sin embargo, sí observaron un aumento en AGP n-3 como el ácido alfa-linoleico (C18:3 n-3, AAL) que es precursor de los ácidos eicosapentaenoico (C20:5 n-3, EPA) y docosahexaenoico (C22:6 n-3, DHA). De manera similar, Kafantaris *et al.* (2016) y Trombetta *et*

al. (2019) obtuvieron mayores valores en los AGP n-3 (AAL, EPA, DHA) al suplementar con 9% de OU en lechones por 30 días y de 3.5-7% de ensilado de OU más linaza en cerdos durante 86 días respectivamente. Por otro lado, González-Noriega (2016), también obtuvo aumento en AGP y AG n-3 con una suplementación de 25 ppm de AF en cerdos (Landrace x Yorkshire) durante 28 días.

Cuadro 9. Sumatorias (%) de los ácidos grasos y relaciones nutricionales de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus thoracis* de cerdos suplementados con ácido ferúlico y orujo de uva.

Ácidos grasos ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de P
	Testigo	AF	OU		
∑ AGS	41.77	41.73	41.57	0.55	0.96
∑ AGM	46.56	46.75	45.94	0.90	0.80
∑ AGP	11.66	11.50	12.48	0.81	0.66
AGM / AGS	1.12	1.12	1.10	0.03	0.94
AGP/ AGS	0.28	0.27	0.30	0.02	0.72
∑ n-3	0.54	0.53	0.59	0.04	0.59
∑ n-6	10.18	10.16	11.13	0.71	0.55
n-6 / n-3	19.32	19.17	19.18	0.75	0.98

¹Variables: AGS, ácidos grasos saturados; AGM, ácidos grasos monoinsaturados; AGP, ácidos grasos poliinsaturados; n-3, ácidos grasos omega 3; n-6, ácidos grasos omega 6.

²Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³Error estándar de la media. n = 8 por tratamiento.

Desde el punto de vista de la nutrición humana, el incremento de los AG de la familia ω3 y AGP pueden suponer beneficios como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, la promoción de una respuesta antiinflamatoria y el apoyo al desarrollo y funcionamiento del cerebro (Feliu *et al.*, 2021). Sin embargo, en términos de la calidad de la carne, son más susceptibles a la oxidación en comparación con los AGS o AGM, lo que a su vez puede alterar las propiedades sensoriales de la carne, como su sabor y textura (González-Noriega, 2016; Li *et al.*, 2015). Esto puede afectar la vida útil de la carne y su estabilidad oxidativa, así como la aceptación por parte de los consumidores lo que podría requerir medidas adicionales para prevenir la oxidación de los AG. Aunque en este trabajo no se observaron cambios en las relaciones nutricionales, los valores

obtenidos no fueron afectados por la incorporación de AF y OU, lo que supone una ventaja para mejorar otros parámetros sin producir efectos adversos en el resto. Sin embargo, existe la posibilidad de mejorar la calidad nutricional de la carne de cerdo como se mostró los diversos estudios de la suplementación con compuestos fenólicos. Esta variabilidad puede deberse a factores como: el tipo de compuesto, la forma y la dosis administrada, el tiempo de exposición, el tipo de dieta ofrecida al animal, el origen racial, la edad, el sexo y más recientemente estudiados, factores genéticos relacionados con el metabolismo de los lípidos (Wang *et al.*, 2020). Por lo tanto, la incorporación de compuestos fenólicos en la dieta animal, puede ser una estrategia que considerar para mejorar la calidad de la carne. Sin embargo, se necesitan más investigaciones sobre la incorporación de compuestos fenólicos en las dietas de cerdos, su efecto sobre el perfil lipídico y evaluar el almacenamiento de la carne bajo diferentes condiciones y tiempos de almacenamiento.

6.6.3. Calidad Físicoquímica de la Carne

Los resultados del pH, la capacidad de retención de agua (CRA), la pérdida por cocinado (PCC) y el esfuerzo al corte (EC) se muestran en el Cuadro 10, en el cual se aprecia que, para ninguno de estos parámetros evaluados en la carne de cerdo se obtuvo efecto por la adición de AF y OU ($P > 0.05$).

Cuadro 10. Características fisicoquímicas de la carne de cerdos suplementados con ácido ferúlico y harina de orujo de uva.

Variables ¹	Tratamientos ²			EEM ³	Valor de <i>P</i>
	Testigo	AF	OU		
pH	5.38	5.46	5.44	0.005	0.12
CRA, %	74.32	74.95	75.61	2.26	0.91
PPC, %	20.11	18.46	21.70	1.66	0.35
EC, Kg fuerza	5.65	5.67	5.93	0.23	0.62

¹ Variables: CRA, Capacidad de retención de agua; PPC, Pérdida por cocción en cocinado; EC, Esfuerzo al corte.

² Testigo: Dieta basal (DB); AF: DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU: DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

³ Error estándar de la media. n = 8 por tratamiento.

El pH de la carne no se modificó por la adición de ninguno de los tratamientos ($P>0.05$), todos los valores se encontraban dentro del rango normal para la carne de cerdo, estos resultados concuerdan con los obtenidos en diversos estudios (Bertol *et al.*, 2017; González-Noriega, 2016; Li *et al.*, 2015; Trombetta *et al.*, 2019; Yan & Kim, 2011). El pH del músculo vivo es cercano a un valor neutro (7.0), durante el proceso de instauración del rigor mortis desciende gradualmente hasta valores que van desde 5.4 al 5.8 (5-8 horas *postmortem* para el cerdo) y se estabiliza finalmente alrededor de las 24 h (Alban Loor, 2022; Segarra-Zenteno *et al.*, 2018). Se ha informado que la carne de cerdo con valores de pH inferiores a 5.4 en la primera hora después del sacrificio puede clasificarse como tipo PSE (pálida, suave y exudativa), la cual es causada principalmente debido al estrés del animal antes y durante el sacrificio (Damián-Ramírez *et al.*, 2022; Simek *et al.*, 2004). En este sentido, los tratamientos de AF y OU mantienen los valores de pH dentro del rango aceptable.

Los valores de CRA no se vieron influenciados por los tratamientos ($P>0.05$), no obstante, los porcentajes fueron mejores en los animales suplementados, estos datos coinciden con los obtenidos por González-Noriega (2016) y Trombetta *et al.* (2019). La CRA de la carne está influida por el pH, entre más alejado se encuentre del punto isoelectrico de las proteínas del músculo (5.0-5.1) mejor será su capacidad para retener el agua (León *et al.*, 2018). Por otra parte, un mayor contenido de grasa también influye negativamente, en este estudio el tratamiento de OU que presentó menor contenido lipídico obtuvo el mejor % de CRA. Entre otros factores se encuentran también la especie, la raza, el almacenamiento, procesamiento y la cocción de la carne. Nutricionalmente, valores bajos de CRA se traducen en pérdidas importantes de proteínas (aprox 112 mg/mL de líquido), minerales y vitaminas hidrosolubles (Huff Lonergan & Lonergan, 2005; León *et al.*, 2018). Por lo tanto, el uso de compuestos como AF y OU que beneficien la aptitud de la carne para mantener ligada el agua puede favorecer la calidad nutricional, sensorial, tecnológica e industrial de los productos derivados.

La PPC tampoco se vio afectada por la incorporación de los tratamientos ($P>0.05$). Este mismo comportamiento se observó en otros estudios con la incorporación de AF (González-Noriega, 2016), ensilado y harina de OU (Bertol *et al.*, 2017; Trombetta *et al.*, 2019). El rango puede variar de acuerdo a diversos factores como la calidad de la carne cruda, la raza del animal, el método y la temperatura de cocción (Dall *et al.*, 2003). Sin embargo, los valores obtenidos para esta variable se encontraban dentro del rango reportado como aceptable.

Para el EC la adición de los tratamientos no tuvo ningún efecto ($P>0.05$). Inicialmente se esperaban

valores más bajos de EC para AF debido a su puntaje de marmoleo y contenido químico de grasa intramuscular. Sin embargo, fue similar al grupo testigo (5.65 vs 5.67), esto contrasta con otros estudios que reportan la disminución del EC en 12% con la suplementación de 25 y 100 ppm de AF (González-Noriega, 2016; Li *et al.*, 2015). Por otra parte, los resultados de OU indican un aumento en 5% del EC, esto coincide con la evaluación del marmoleo de las canales, la carne con este tratamiento resultó ser la más magra. Sin embargo, el efecto de la suplementación con subproductos de uva no es del todo claro. Por una parte, la suplementación con resveratrol (300-600 ppm) (Zhang *et al.*, 2015) o extracto de proantocianidina de semilla de uva (0.005-0.02%) (Meng *et al.*, 2022) disminuyó el EC de la carne de cerdo, mientras que, la incorporación de OU fermentado o sólidos del vino tinto no afectó la fuerza de corte (Peiretti *et al.*, 2015; Trombetta *et al.*, 2019; Yan & Kim, 2011). Debido a estas inconsistencias es necesario profundizar más en los efectos de la suplementación de estos compuestos en la carne de cerdo debido a su relevancia como criterio determinante para evaluar la calidad de la carne por parte del consumidor (Ruiz-Carrascal *et al.*, 2004).

En conclusión, la suplementación con AF y OU no afectó significativamente las características fisicoquímicas de la carne de cerdo evaluadas en este estudio. Estos resultados sugieren que la suplementación con estos compuestos no tendrá un impacto negativo en la calidad de la carne de cerdo y podría ser una estrategia potencial para mejorar la salud animal y beneficiar otros parámetros de calidad de la carne.

6.6.4. Estudio de Estabilidad en Refrigeración a 4 °C

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de las coordenadas cromáticas de L*, a*, b*, el ángulo de matiz y la cromaticidad de la carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C en presencia de luz. No se encontró interacción para ninguno de los parámetros (P>0.05) y tampoco efecto de los tratamientos (P>0.05), pero si por el tiempo de almacenamiento (P<0.05). Cabe mencionar que todos los rangos se encuentran dentro de lo reportado como normal para la carne de cerdo, según la clasificación estadounidense del NPPC (2000) y la escala nacional de INIFAP (López-Hernández *et al.*, 2013).

El valor de L^* indica la luminosidad o brillo de la carne. No hubo efecto del tratamiento ($P>0.05$), pero sí del tiempo ($P<0.05$). El grupo con el valor de L^* más alto fue el de AF, lo cual coincide con lo reportado por González-Noriega (2016) y Li *et al.* (2015). Por otro lado, diversos estudios donde se suplementó con algún derivado de la uva no reportan efecto sobre la luminosidad, aunque los valores medios fueron similares o más altos que el testigo (Bertol *et al.*, 2017; O'Grady *et al.*, 2008; Peiretti *et al.*, 2015), pero no menores como en este estudio.

El aumento del valor de L^* a través del tiempo de refrigeración (día 5 y 7), puede atribuirse a la oxidación de la mioglobina, una proteína rica en hierro que se une al oxígeno en los músculos y le da a la carne su color rojo brillante característico. Durante el almacenamiento y procesamiento de la carne, la mioglobina puede oxidarse y convertirse en metamioglobina, la cual tiene una estructura tridimensional diferente y es menos eficiente para unir el oxígeno. Esto resulta en una disminución de la intensidad del color y una apariencia más clara de la carne (Suman & Joseph, 2013). Otros factores, como el pH, la actividad de las enzimas proteolíticas y pérdidas por goteo también pueden influir en el color de la carne, valores más altos suelen relacionarse con mayor luminosidad (Kim *et al.*, 2010). Por otra parte, la degradación de proteínas musculares, la pérdida de pigmentos y la formación de complejos de proteína-lípido contribuyen al aumento de L^* , que se traducen en una carne más clara (Huff Lonergan & Lonergan, 2005).

El valor a^* es una medida de la intensidad del color rojo en la carne y está influenciado por la concentración de mioglobina y su estado de oxidación. La coloración roja de la carne no se modificó por la aplicación de los tratamientos ($P>0.05$), solamente fue influenciada por el tiempo de almacenamiento ($P<0.05$). En el día 0, el grupo testigo presentó un valor mayor de a^* , mientras que los grupos AF y OU fueron similares. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Li *et al.* (2015), quienes obtuvieron valores más elevados de a^* con una suplementación de 100 ppm de AF. Durante el almacenamiento de la carne en este estudio, el parámetro a^* disminuyó gradualmente hasta el día 7. Este mismo comportamiento durante la vida de anaquel se reporta en otro estudio con AF (25 ppm) (González-Noriega, 2016), aunque los valores de a^* fueron más bajos que en nuestro estudio al día 5 y 7.

Por otro lado, el tratamiento de OU presentó la menor coloración roja al inicio y fue similar a los grupos Testigo y AF en los demás días de almacenamiento. Este resultado contrasta con el de Yan & Kim (2011), quienes obtuvieron valores más elevados en el día 0. Mientras tanto, otros estudios no reportan efecto en el valor de a^* (Bertol *et al.*, 2017; González-Torres, 2021; Trombetta *et al.*,

2019). En su estudio de vida de anaquel, O'Grady (2008) demostró que la suplementación con extracto de semilla de uva mantuvo más estable el comportamiento de a^* durante el tiempo de almacenamiento. Asimismo, Meng *et al.* (2022) con la suplementación con proantocianidina de semilla de uva en diferentes niveles, lograron aumentar el parámetro de a^* en la carne de cerdo. El valor de b^* indica las tonalidades amarillentas de la carne. No hubo efecto de los tratamientos ($P>0.05$), pero sí del tiempo durante el almacenamiento ($P<0.05$). Aunque no hubo diferencias entre tratamientos, el AF fue el que presentó los valores más estables en este parámetro, resultado que coincide con el obtenido en el estudio de vida de anaquel de González-Noriega (2016). Por otra parte, en estudios donde se utilizaron diferentes subproductos de la uva, no se observó ningún efecto y los valores obtenidos fueron inconsistentes (Bertol *et al.*, 2017; Peiretti *et al.*, 2015; Trombetta *et al.*, 2019).

A partir de las coordenadas de los parámetros de L^* , a^* y b^* se calculan los valores del ángulo de matiz, que indica la tonalidad o color verdadero y la cromaticidad o croma, que se refiere a la saturación o intensidad del color (KONICA-MINOLTA, 2023). De esta manera, saber el tono y la intensidad genera una perspectiva más realista del color de la carne. Sin embargo, para ambas variables no hubo efecto de los tratamientos ($P>0.05$), pero sí del tiempo de almacenamiento ($P<0.05$). Estos resultados contrastan con un estudio donde la suplementación con AF y el tiempo de almacenamiento tuvieron efecto en el ángulo de matiz (González-Noriega, 2016). Mientras que, en otros estudios con la suplementación de algún derivado de la uva en cerdos, los valores de matiz y de cromaticidad de la carne no se modificaron (Peiretti *et al.*, 2015; Trombetta *et al.*, 2019).

Diversos factores técnicos como la fuente de luz, el equipo de medición, el ángulo de observación y la preparación de la muestra. O bien, factores biológicos y químicos, como el estado de oxidación de las proteínas de la carne, la concentración de los pigmentos, edad del animal, características de sus fibras musculares pueden influir en los parámetros del color (González-Torres, 2021; Kim *et al.*, 2010; Suman & Joseph, 2013). Independientemente de esto, el color es el atributo de mayor importancia en la decisión de compra de carne fresca, debido a que el consumidor lo asocia con el grado de frescura y calidad (Brewer *et al.*, 2002).

Cabe destacar que, aunque no hubo un efecto de los tratamientos, el AF mantuvo más estable el color de la carne a través del tiempo de almacenamiento. Por lo que, la suplementación con compuestos que favorezcan diversas características de calidad de la carne sin que afecte los parámetros de color, es una potencial estrategia para mejorar las condiciones de venta.

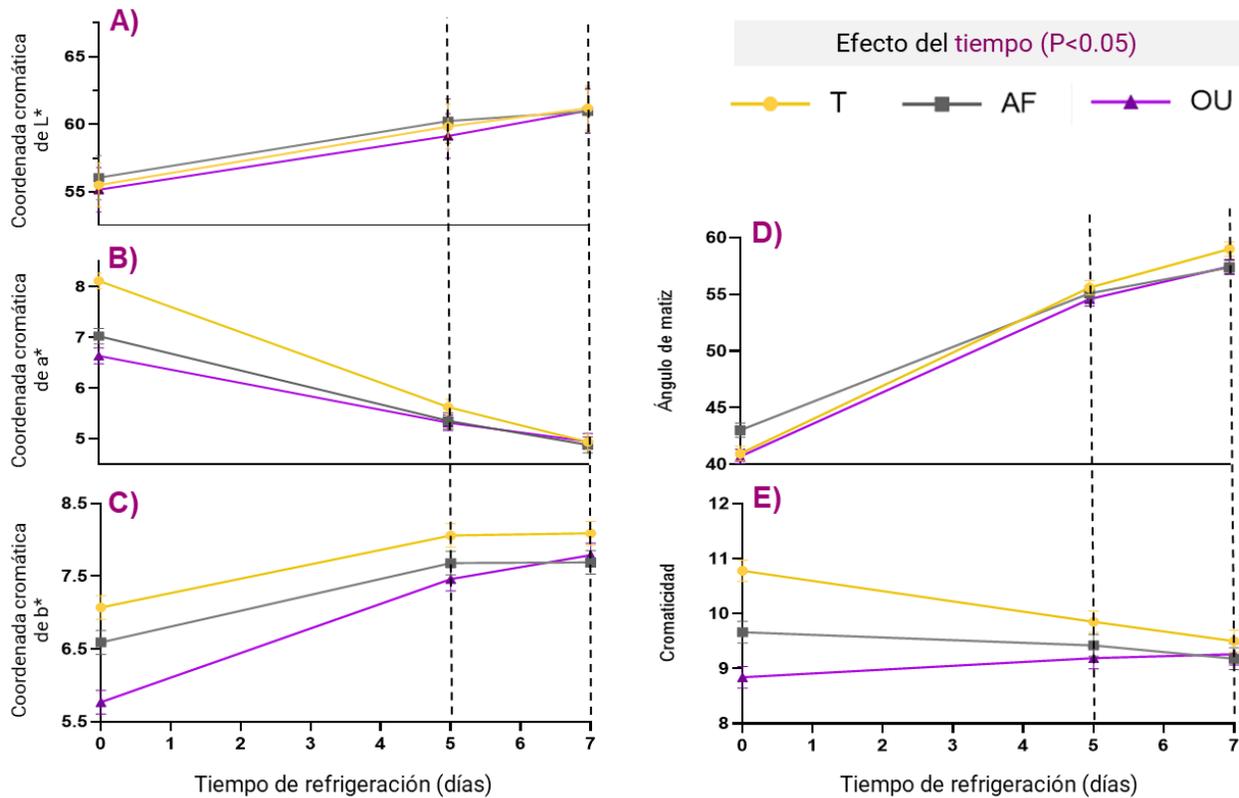


Figura 5. Valores de L* (Panel A), a* (Panel B), b* (Panel C), ángulo de matiz (Panel D) y cromaticidad (Panel E) de carne fresca de cerdo almacenada a 4°C en presencia de luz. Testigo (T, n=8): Dieta basal (DB); AF (n=8): DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU (n=8): DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

La Figura 6 muestra cómo la carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C en presencia de luz experimenta oxidación lipídica y proteica. Los resultados indican que tanto los tratamientos utilizados ($P < 0.05$), así como el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$) afectan los valores de TBARS (oxidación lipídica). Por otra parte, la oxidación de la metamioglobina (MetMb) sólo se vio modificada por el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$), dándose un cambio gradual desde el día 1 hasta el día 7.

Específicamente, la carne proveniente de animales suplementados con OU, presentaron los valores de MDA más bajos durante todo el periodo de almacenamiento. Al día 0, las carnes de los tres tratamientos partieron con un valor medio similar de MDA, luego se observó que en el día 5 el tratamiento de OU tuvo una reducción del 20.6% y al día 7 del 33.33% en comparación con el grupo testigo. Estos resultados concuerdan con los de Yan & Kim (2011), quienes al suplementar a cerdos finalizadores con 3.5% de OU fermentado reportaron una disminución de mg MDA/kg de

53%. De la misma manera, Meng *et al.* (2022) indicaron un rango de disminución del 43.4% al 50.4 % al suplementar con extracto de proantocianidina de semilla de uva (0.005-0.02%). Estos resultados también se han observado al medir la capacidad antioxidante en el suero sanguíneo de lechones suplementados con 9% de ensilaje de orujo de uva roja (Kafantaris *et al.*, 2016) y el tejido hepático de lechones alimentados con 5% de torta de OU (Taranu *et al.*, 2018). A pesar de los beneficios que reportan algunos estudios, otros indican no haber tenido efecto al suplementar con subproductos de la uva (Bertol *et al.*, 2017; O'Grady *et al.*, 2008; Peiretti *et al.*, 2015).

Por su parte, la carne de los animales suplementados con AF presentaron valores intermedios de MDA entre los tratamientos OU y Testigo. Se observó que en el día 5 el tratamiento de AF tuvo una reducción del 11.8% y al día 7 del 15.7% en comparación con el grupo testigo. Esto concuerda con los resultados reportados por Li *et al.* (2015) quienes obtuvieron valores elevados de enzimas antioxidantes. Por otro lado, contrasta con el estudio de González-Noriega (2016) quien obtuvo valores de MDA muy elevados en la carne de animales suplementados con AF.

Estudios previos han demostrado que los extractos o biorresiduos de la uva tienen un efecto positivo en la disminución del nivel de MDA, debido a su capacidad de eliminar radicales libres gracias a los polifenoles que contienen como la quercetina, epicatequina y catequina (Rucker *et al.*, 2014; Sanda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021). Además, se ha encontrado que la suplementación con AF, RES, OU y ACG, aumenta la actividad antioxidante de algunas enzimas como GHSpx (glutación peroxidasa), T-AOX, CAT (catalasa), NRF2 y SOD (superóxido dismutasa) (Li *et al.*, 2015; Sanda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019). Algunos autores sugieren que la suplementación con compuestos fenólicos influye en los niveles de expresión de ARNm de los genes relacionados con estas enzimas antioxidantes (Kafantaris *et al.*, 2016; Meng *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022).

La oxidación lipídica es un proceso natural que ocurre en la carne, especialmente a altas temperaturas y en presencia de oxígeno. Este proceso puede afectar negativamente la calidad de la carne, alterando su sabor, olor, textura y valor nutricional. Se ha encontrado que los niveles de malonaldehído en la carne por encima de 0.5-1.0 mg/kg pueden tener un impacto negativo en la calidad sensorial y ser un factor de rechazo por parte de los consumidores (Tarladgis *et al.*, 1960). El utilizar estrategias que no solo mantengan, sino que mejoren el estatus oxidativo de la carne supone una gran ventaja para la industria cárnica. En general, la inclusión de OU en la dieta de cerdos puede mejorar la calidad de la carne y aumentar su vida útil en refrigeración debido a la

actividad antioxidante de sus compuestos presentes.

Por otro lado, la MetMb de la carne de los cerdos suplementados fue muy similar entre tratamientos y mostró efecto sólo por el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$). Este comportamiento coincide con lo reportado por González-Noriega (2016). En general, se ha encontrado que la formación de metamioglobina aumenta con el tiempo prolongado de almacenamiento, la temperatura (más elevada, acelera los procesos de desnaturalización proteica), además de la exposición y presencia de oxígeno (Suman & Joseph, 2013). La utilización de compuestos con capacidades antioxidantes puede ayudar a estabilizar el color de la carne.

Aunque la información sobre la suplementación con AF y OU en la calidad y estatus oxidativo de la carne es limitada, los estudios de vida de anaquel permiten evaluar objetivamente el efecto de estos compuestos fenólicos en la calidad de la carne a través del tiempo. Esto es de gran importancia para la industria cárnica, ya que mejorar la calidad y vida útil de sus productos resulta beneficioso tanto para el procesamiento tecnológico como para la comercialización en mercados extranjeros.

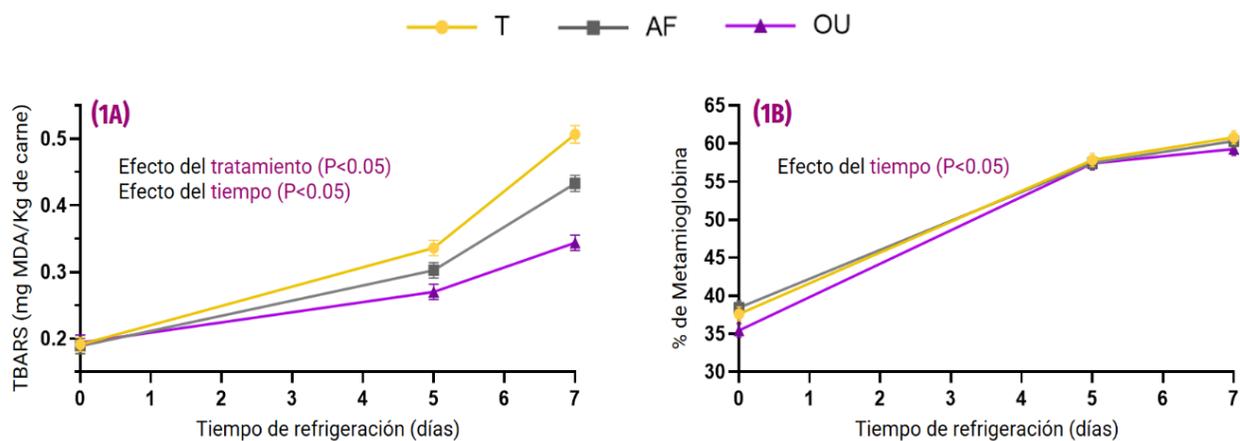


Figura 6. Valores de oxidación lipídica (1A) y proteica (1B) de carne fresca de cerdo almacenada a 4°C en presencia de luz.

Testigo (T, n=8): Dieta basal (DB); AF (n=8): DB + 25 ppm de AF/kg de alimento; OU (n=8): DB + 2.5% de OU/kg de alimento.

7. CONCLUSIONES

La suplementación con un 2.5% de harina de OU durante un periodo de 31 días demostró promover moderadamente (no significativo) la ganancia de peso y aumentar el consumo de alimento, lo que se tradujo en un mayor peso final en los cerdos. Por su parte, la incorporación de 25 ppm de AF no influyó en los parámetros de producción, pero tendió a mejorar el rendimiento de la canal e incrementar el marmoleo en el músculo *Longissimus thoracis*. Además, ninguno de los tratamientos afectó el perfil hormonal de GH e IGF-1.

La calidad fisicoquímica, la composición proximal y el perfil lipídico de la carne no mostraron cambios significativos por la suplementación con AF y OU. Sin embargo, se redujo la cantidad de grasa intramuscular con la suplementación de harina de OU. En el estudio de estabilidad de la carne fresca refrigerada a 4°C, la suplementación con harina de OU permitió retardar la oxidación lipídica, lo cual favorece la calidad de la carne y genera mejores condiciones para la venta.

Los resultados favorables sobre la histología del epitelio intestinal al suplementar con ambos compuestos, podrían ser tomados como indicadores importantes de una mejor salud intestinal. Lo anterior podría permitir mejorar la absorción de nutrientes y reflejarse en un incremento del desempeño productivo. Sin embargo, se requieren otros estudios para evidenciar esta asociación.

Con base en los resultados generados, se propone al OU como una posible alternativa natural para promover el crecimiento en cerdos finalizadores, mejorar las características de la canal y beneficiar la calidad de la carne. A su vez, surge como propuesta para mejorar la economía y eficiencia de los sistemas productivos mediante revalorización de los biorresiduos. Además, esto puede contribuir con la mitigación de la contaminación y promocionar la sostenibilidad ambiental.

8. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones adicionales sobre la suplementación de OU en cerdos finalizadores, explorando diferentes dosis y tiempos de exposición. Esto permitirá comprender mejor los mecanismos involucrados y optimizar los beneficios en términos de crecimiento, calidad de la carne y salud intestinal.

Evaluar el impacto de la suplementación con AF en combinación con otros compuestos fenólicos, para determinar posibles sinergias o efectos complementarios en los parámetros de producción, calidad de la carne y perfil hormonal.

Investigar la influencia de la suplementación con OU y AF en la microbiota intestinal de los cerdos finalizadores, analizando los cambios en la composición y actividad de la microbiota, así como su relación con la salud intestinal y el rendimiento productivo.

Realizar estudios adicionales para evaluar el impacto de la suplementación con OU y AF en la expresión de proteínas y genes relacionados con la función de la barrera intestinal. Esto permitirá comprender mejor los mecanismos a nivel molecular y celular involucrados en la mejora de la salud intestinal.

Extender la investigación para evaluar los efectos de la suplementación con OU en cerdos desde el destete a la finalización, incluyendo el seguimiento de parámetros de crecimiento, calidad de la carne y salud intestinal en las distintas etapas del ciclo de producción. Esto proporcionará información valiosa sobre la sostenibilidad y efectividad de esta alternativa natural.

9. REFERENCIAS

- Abellán, Á., Baenas, N., Rivera, S., Moreno, D., García, Viguera, C., & Domínguez Perles, R. (2017). Aplicación de los polifenoles en la industria alimentaria parte 1. *La Alimentación Latinoamericana*, 334, 46–58.
- Alban Loor, A. P. (2022). *Evaluación del pH y crecimiento microbiano durante el faenamiento y almacenamiento de carnes de res, pollo y cerdo [Tesis de Grado]*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Alfaia, C. M., Costa, M. M., Lopes, P. A., Pestana, J. M., & Prates, J. A. (2022). Use of grape by-products to enhance meat quality and nutritional value in monogastrics. *Foods*, 11(18), 2754.
- Alonso, J., Domínguez, H., Garrote, G., González, M., Guillón, B., Mourse, A., Santos, V., Villa, C., & Yáñez, R. (2011). Biorefinery processes for the integral valorization of agroindustrial and forestal wastes. *CyTA-Journal of Food*, 9(4), 282–289.
- Alves, L., Campos, F., Alves, F., Alisson, J., Salgado, G., Guimarães, L., De Souza, D., & De Oliveira, D. (2018). Assessment of ractopamine supplementation and immunization against GnRH effects on behavioral traits and human-pig interaction in heavy weight market gilts. *Applied Animal Behaviour Science*, 207, 20–25.
- AMSA. (2012). *Meat color measurement guidelines - American Meat Science Association*.
- AMSA. (2015). *Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat. In American Meat Science Association Educational Foundation*.
- Barraso, C., López Parra, M., & Rodríguez, P. (2021). Efecto de la variedad de orujo de uva sobre la producción de gas y metano in vitro. *Archivos de Zootecnia*, 70(269).
- Beermann, D. (2002). Beta-adrenergic receptor agonist modulation of skeletal muscle growth. *Journal of Animal Science*, 80, 18–23.
- Beres, C., Costa, G., Cabezudo, I., Da Silva, N., Teles, A., Cruz, A., Mellinger, C., Tonon, R., Cabral, L., & Freitas, S. (2017). Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review. *Waste Management*, 68, 581–594.
- Bertol, T. M., Ludke, J. V., Lemes de Campos, R. M., Kawski, V., Cunha Junior, A., & Pereira, E. (2017). Inclusion of grape pomace in the diet of pigs on pork quality and oxidative stability of omega-3 enriched fat. *Cienc. Rural*, 47(4).
- Bich Ngoc, T. T., Thi Oanh, D., Pineda, L., Ayudhya, S., De Groot, N., & Yanming, H. (2020). The effects of synergistic blend of organic acid or antibiotic growth promoter on performance and antimicrobial resistance of bacteria in grow–finish pigs. *Translational Animal Science*, 4(4), 211.
- Bligh, E., & Dyer, W. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911–917.
- Bonilla, M., Zambiasi, R., Peres, M., & Pizzi, G. (2015). Implications of oxidative stress in chronic

- diseases, benefits of ferulic acid to the health and effect of heat treatment on its antioxidant potential. In *Ferulic Acid: Antioxidant properties, uses and potential health benefits* (pp. 2–38).
- Brewer, S., Wilson, J., & McKeith, F. (2002). The effect of pig genetics and palatability, colorant physical characteristics of fresh loin chops. *Meat Science*, *61*, 249–256.
- Brustolini, A. P. L., Rodrigues, L. A., Silva, F. C. O., Peloso, J. V., Aldaz, A., Junior, M. B. C., Figueiredo, T. C., Alkim, D. V., & Fontes, D. O. (2019). Interactive effects of feed allowance and ractopamine supplementation on growth performance and carcass traits of physically and immunologically castrated heavy weight pigs. *Livestock Science*, *228*, 120–126.
- Cáceres-Mendoza, A. M., & Pineda-Núñez, Y. S. (2020). *Efecto de la inclusión de subproductos agroindustriales como alternativa dietética sobre los parámetros productivos en cerdos de engorde [Tesis de grado]*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Cai, L., Li, Y. P., Wei, Z. X., & Li, X. L. (2020). Effects of dietary gallic acid on growth performance, diarrhea incidence, intestinal morphology, plasma antioxidant indices, and immune response in weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, *261*, 114391.
- Campbell, J. M., Crenshaw, J. D., & Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *4*(19).
- Cancho, B., García, M., & Simal, J. (2000). El uso de los antibióticos en la alimentación animal: perspectiva actual. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, *3*(1), 39–47.
- Castañeda-Arriaga, R., Pérez-González, A., Reina, M., Álvarez-Idalboy, R., & Galano, A. (2018). Comprehensive investigation of the antioxidant and pro-oxidant effects of phenolic compounds: a double-edged sword in the context of oxidative stress? *Te Journal of Physical Chemistry*, *122*, 6198–6214.
- Cervillos-Andrade, V. E. (2022). *Extracción y microencapsulación de ácido ferúlico a partir de los residuos agroindustriales de bagazo de malta de cebada como potencial antioxidante [Tesis de grado]*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Chen, X., Guo, Y., Jia, G., Zhao, H., Liu, G., & Huang, Z. (2019). Ferulic acid regulates muscle fiber type formation through the Sirt1/AMPK signaling pathway. *Food & Function*, *10*(1), 259–265.
- Chen, X., Wang, Y., Chen, D., Yu, B., & Huang, Z. (2022). Dietary ferulic acid supplementation improves intestinal antioxidant capacity and intestinal barrier function in weaned piglets. *Animal Biotechnology*, *33*(2), 356–361.
- Choi, H., & Kim, B. G. (2019). A low-fiber diet requires a longer adaptation period before collecting feces of pigs compared with a high-fiber diet in digestibility experiments using the inert marker method. *Animal Feed Science and Technology*, *256*, 114254.
- Chuang, W.-Y., Lin, L.-J., Shih, H.-D., Shy, Y.-M., Chang, S.-C., & Lee, T.-T. (2021). The potential utilization of high-fiber agricultural by-products as monogastric animal feed and feed additives: a review. *Animals*, *11*(7), 2098.
- COMECARNE. (2022). *Compendio estadístico 2022*. Fuente consultada en mayo de 2023 en: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2022/>
- Dall, A. M., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertram, H., & Andersen, H. (2003). Cooking loss and

- juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Quality and Preference*, 14, 227–288.
- Damián-Ramírez, S., Carreras-Solís, R. del S., Ibarra-Gutiérrez, A., Martínez-González, G. A., Linares-Grimaldo, J. L., & Ángel-Hernández, A. (2022). Influence of animal welfare during pre-slaughter handling on meat quality. *Jóvenes En La Ciencia*, 14, 1–13.
- Daszkiewicz, T., Bąk, T., & Denaburski, J. (2005). Quality of pork with a different intramuscular fat (IMF) content. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14(1), 31–35.
- De Cara, A., & Rey, A. (2021). Incorporación de extractos de la hoja de olivo en la dieta y características de calidad de la carne de cerdo. *Eurocarne*, 295, 58–62.
- De Oliveira, E., & Batista, R. (2017). Ferulic acid and naturally occurring compounds bearing a feruloyl moiety: a review on their structures, occurrence, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 580–616.
- Desdémona, E. (2019). Promotores de crecimiento utilizados en ganado para producción de carne. *Revista Veterinaria*, 16(96), 74–84.
- Devi, S. M., Park, J.-W., & Ho, K.-I. (2015). Effect of plant extracts on growth performance and insulin-like growth factor 1 secretion in growing pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(10), 355–360.
- Dreser-Masilla, A. C., Zaidi Jaconson, M., & Peredo-Velarde, M. Á. (2010). Regulación y promoción para el uso adecuado de antibióticos en México: Propuesta de lineamientos para la acción. *Instituto Nacional de Salud Pública*, 2–5.
- Duan, Y., Guo, Q., Wen, C., Wang, W., Li, Y., Tan, B., Li, F., & Yin, Y. (2016). Free amino acid profile and expression of genes implicated in protein metabolism in skeletal muscle of growing pigs fed low-protein diets supplemented with branched-chain amino acids. *J. Agric. Food Chem*, 64(49), 9390–9400.
- Ezquerro-Osorio, A., Bueno-Arias, G. M., Torres-González, K. S., Arias-Marín, R., & Ramírez-García, J. E. (2019). Intoxicación alimentaria por clenbuterol, padecimiento subdiagnosticado. *Acta Médica Grupo Ángeles*, 17 (4).
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2021). *Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://doi.org/10.4060/cb4474es>
- FAO-WHO. (2018). *Codex Alimentarius, Límites Máximos de Residuos (LMR) y Recomendaciones sobre la Gestión de Riesgos (RGR) para residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos*. (p. 34).
- Feliu, M. S., Fernández, I., & Slobodianik, N. (2021). Importance of omega 3 fatty acids in health. *Actualización En Nutrición*, 22(1), 25–35.
- Frontanela, C., Canali, R., & Virgili, F. (2010). Empleo de compuestos fenólicos en la dieta para modular la respuesta inflamatoria intestinal. *Progresos En Gastroenterología*, 33(4), 307–312.
- Gharaati, S. (2019). Plant physiological aspects of phenolic compounds. En *Plant Physiological Aspects of Phenolic Compounds*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77494>

- González, H., Dávila, J., Peña, E., Valenzuela, L., Zamorano, L., & Islava, T. (2016). Dietary supplementation of ferulic acid to steers under commercial feedlot feeding conditions improves meat quality and shelf life. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 111–121.
- González-Noriega, J. (2016). *Efecto de la suplementación dietaria de ácido ferúlico en el comportamiento productivo, calidad de la canal y carne de cerdo [Tesis de Maestría]*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora, México.
- González-Torres, I. (2021). *Estudio del efecto de la inclusión de subproductos de la industria agroalimentaria gallega en la alimentación porcina sobre la productividad, la calidad de carne y la viabilidad económica y medioambiental [Tesis Doctoral]*. Universidad de Vigo, España.
- Gorewit, R. C. (1983). Pituitary and thyroid hormone response of heifers after ferulic acid administration. *Journal of Dairy Science*, 66(3), 624–629.
- Grunert, K., Bredahl, L., & Brunso, K. (2004). Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. *Meat Science*, 66(2), 259–272.
- Hassan, Y. I., Kosir, V., Yin, X., Ross, K., & Diarra, M. S. (2019). Grape pomace as a promising antimicrobial alternative in feed: a critical review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(35), 9705–9718.
- Herrera, R., Alejo, M., & Asaff, A. (2011). *Methods to accelerate muscle development, decrease fat deposits, and enhance feeding efficiently in pigs. US20110046224A1 (Patent)*.
- Hu, R., Wu, S., Li, B., Tan, J., Yan, J., Wang, Y., Tang, Z., Liu, M., Fu, C., Zhang, H., & He, J. (2022). Dietary ferulic acid and vanillic acid on inflammation, gut barrier function and growth performance in lipopolysaccharide-challenged piglets. *Animal Nutrition*, 8, 144–152.
- Huang, C., & Lee, T. (2018). Immunomodulatory effects of phytochemicals in chickens and pigs: A review. *Asian Australian J AnimSci*, 31(5), 617–627.
- Huerta-Acosta, A., Rodríguez-Jorge, Y., Valencia-López, I., & Villegas-Villegas, O. (2013). Obtención de Ácido ferúlico por hidrólisis del maíz. En *Obtención de materias primas para la producción de medicamentos*.
- Huff Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194–204.
- Ijaz, M., Kashif, M., Hussain, I., Ali, S., Shafiqul, M., Hayat, M., Hayat, Z., Sardar, A., Ullah, S., & Guevara, D. (2021). Meat production and supply chain under COVID-19 scenario: current trends and future prospects. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 660–736.
- INTAGRI. (2019). Uso de aditivos y promotores de crecimiento en la alimentación de bovinos de engorda. *Serie Ganadería, Artículos Técnicos de INTAGRI. México.*, 21, 5.
- Jang, I., Ko, Y., & Yang, H. (2004). Influencia de los componentes del aceite esencial en el rendimiento del crecimiento y la actividad funcional del páncreas y el intestino delgado en pollos de engorde. *Asian Australian J AnimSci*, 17, 394400.
- Kafantaris, I., Kotsampasi, B., Christodouluo, V., Kokka, E., Kpouka, P., Terzopoulou, Z., Gerasopoulos, K., Stagos, D., Mitsagga, C., Giavasis, I., Makri, S., Petotors, K., & Kouretas, D. (2016). Grape pomace improves antioxidant capacity and fecal microflora of lambs.

- Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(5), 108–121.
- Kim, G.-D., Joeng, J.-Y., Hur, S., Yang, H.-S., Joen, J.-T., & Joo, S.-T. (2010). The relationship between meat color (CIE L* and a*), myoglobin content, and their influence on muscle fiber characteristics and pork quality. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour*, 30(4), 626–633.
- KONICA-MINOLTA. (2023). *Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B**. Konica Minolta Sensing Americas, Inc. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Kumar, D., & Asir, T. (2010). Antioxidant and prooxidant nature of hydroxycinnamic acid derivatives ferulic and caffeic acids. *Food and Chemical Toxicology*, 48(12), 3369–3373.
- Ky, I., Lorrain, B., Kolbas, N., Crozier, A., & Teissedre, P. (2014). Wine by-products: phenolic characterization and antioxidant activity evaluation of grapes and grape pomaces from six different french grape varieties. *Molecules*, 19(1), 482–506.
- LATINFOODS. (2010). *Compilation of food composition data in latin american countries*. <http://latinfoods.inta.cl/composicion-de-alimentos/>
- Laxminarayan, R., Van Boeckel, T., & Teillant, A. (2015). The economic costs of withdrawing antimicrobial growth promoters from the livestock sector. *OECDiLibrary*, 78, 13.
- León, M., Orduz, A., & Velandia, M. (2018). Composición fisicoquímica de la carne de ovejo, pollo, res y cerdo. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 15(2), 62–75.
- Li, P., Piao, X., & Ru, Y. (2012). Efectos de la adición de aceite esencial a la dieta de los lechones destetados sobre el rendimiento, la utilización de nutrientes, la respuesta inmunitaria y la salud intestinal. *Asian Australian J AnimSci*, 25, 161726.
- Li, Y. J., Li, L. Y., Li, J. L., Zhang, L., Gao, F., & Zhou, G. H. (2015). Effects of dietary supplementation with ferulic acid or vitamin E individually or in combination on meat quality and antioxidant capacity of finishing pigs. *Asian Australian J AnimSci*, 28(3), 374–381.
- Lillehoj, H., Yanhong, L., Calsamiglia, S., Fernandez, M., Chi, F., Cravens, R., Oh, S., & Gay, C. (2018). Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Veterinary Research*, 49(76).
- Liu, X., Ju, Y., Bao, N., Luo, Y., Huang, L., Cao, N., Liu, M., No, J., Zhang, S., & Yan, Y. (2021). Effects of polyphenol-rich Aronia melanocarpa pomace feeding on growth performance, biochemical profile, and meat quality in pigs at weaned and finishing stages. *Livestock Science*, 252, 104674.
- Liu, Y., Che, T., & Song, M. (2013). Los extractos de plantas dietéticas mejoran la respuesta inmunitaria y la eficiencia del crecimiento de los cerdos infectados experimentalmente con el virus del síndrome respiratorio y reproductivo porcino. *Journal of Animal Science*, 91, 566879.
- López-Hernández, L., Braña-Varela, D., & Hernández-Hernández, I. (2013). *Estimación de la vida de anaquel de la carne. Primera Edición*.
- Macheroux, P., Schmid, J., Amrhein, N., & Schaller, A. (1999). A unique reaction in a common pathway: Mechanism and function of chorismate synthase in the shikimate pathway. *Planta*, 207, 325–334.

- Marchant, J., Lay, D., Pajor, E., Richert, B., & Schinckel, A. (2003). The effects of ractopamine on the behavior and physiology of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 82(2), 416–422.
- Mariezcurrera-Berasain, M. A., Braña-Varela, D., Mariezcurrera-Berasain, M. D., Domínguez-Vara, I. A., Méndez-Medina, D., & Rubio-Lozano, M. S. (2012). Effect of ractopamine and different lysine concentrations in pig diets on pork chemical and sensory characteristics. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(4), 427–437.
- Matínez-Gamba, R., Salmerón-Sosa, F., & López-Alcántar, M. (2006). Heredabilidad estimada y comparación de genotipos puros en porcinos de las razas Duroc, Landrace, Yorkshire y en cruces recíprocos de las razas Landrace y Yorkshire para la grasa dorsal y peso a 154 días. *Revista Científica*, 16(2).
- Meng, Q., Sun, S., Bai, Y., Luo, Z., Shi, B., & Shan, A. (2020). Effects of dietary resveratrol supplementation in sows on antioxidative status, myofiber characteristic and meat quality of offspring. *Meat Science*, 167, 108176.
- Meng, X., Chen, X., Huang, Z., Chen, D., Li, M., He, J., Chen, H., Zheng, P., Yu, J., Luo, Y., & Yu, B. (2022). Effects of dietary grape seed proanthocyanidin extract supplementation on meat quality, muscle fiber characteristics and antioxidant capacity of finishing pigs. *Food Chemistry*, 367, 130791.
- Miyasaka, S. (2007). Empleo de antibióticos en la alimentación de cerdos. *Ciencias Veterinarias*, 287–293.
- Modina, S. C., Polito, U., Rossi, R., Corino, A., & Di Giancamillo, A. (2019). Nutritional Regulation of Gut Barrier Integrity in Weaning Piglets. *Animals*, 9(12), 1045.
- Moss, A. R., Jouany, J.-P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech*, 45(3), 231–253.
- Navajas-Alcalde, C. (2019). *Estudio de metodologías limpias para la extracción de polifenoles en orujos de uva [Tesis de grado]*. Universidad Pública de Navarra. Buenos Aires, Argentina.
- NPPC. (2000). *Pork composition and quality assessment procedures*.
- O'Grady, M., Carpenter, R., Lynch, P., O'Brien, N., & Kerry, J. (2008). Addition of grape seed extract and bearberry to porcine diets: Influence on quality attributes of raw and cooked pork. *Meat Science*, 78, 438–446.
- OECD-FAO. (2022). *Perspectivas agrícolas 2021-2030*. OECD ILibrary Logo. <https://doi.org/10.1787/22184376>
- OMS. (2017). *Dejemos de administrar antibióticos a animales sanos para prevenir la propagación de la resistencia a los antimicrobianos*. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news/item/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>
- OPS. (2021). *Avanza la concientización sobre uso adecuado de antimicrobianos en la industria agropecuaria*. Organización Panamericana de La Salud. <https://www.paho.org/es/noticias/17-11-2021-avanza-concientizacion-sobre-uso-adecuado-antimicrobianos-industria#:~:text=En una revisión sistemática publicada, en un 39%25 o más.>
- Palma-Granados, P. (2017). *Estudio comparado del metabolismo de aminoácidos y de lípidos en el cerdo ibérico y de raza convencional [Tesis Doctoral]*. Universidad de Granada.

- Panisson, J., Maiorka, A., Oliveira, S., Saraiva, A., Duarte, M., Silva, K., Santos, E., Tolentino, R., Lopes, I., Guedes, L., & Silva, B. (2020). Effect of ractopamine and conjugated linoleic acid on performance of late finishing pigs. *Animal*, *14*(2), 277–284.
- Park, P., & Goins, R. (1994). In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *Journal of Food Science*, *59*(6), 1262–1266.
- Peiretti, P. G., Gai, F., Brugiapaglia, A., Mussa, P. P., & Meineri, G. (2015). Fresh meat quality of pigs fed diets with different fatty acid profiles and supplemented with red wine solids. *Food Sci. Technol.*, *35*, 633–642.
- Peixoto, C. M., Dias, M. I., Alves, M. J., Calhella, R. C., Barros, L., Pinho, S. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Grape pomace as a source of phenolic compounds and diverse bioactive properties. *Food Chemistry*, *253*, 132–138.
- Peña-Torres, E. F., González-Ríos, H., Avedaño-Reyes, L., Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazán, A., & Peña-Ramos, E. A. (2019). Ácidos hidroxicinámicos en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *10*(2), 391–415.
- Pérez, C. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio de tecnología en carnes*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Pérez-Najera, V., Lugo-Cervantez, E., Gutiérrez-Lomelí, M., & Del-Toro-Sánchez, CL. (2013). Extracción de compuestos fenólicos de la cáscara de lima (*Citrus limetta* Risso) y Determinación de su actividad antioxidante. *Biotecnia*, *15*(3), 18.
- Pfalzgraf, A., Frigg, M., & Steinhart, H. (1995). Alpha-tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *43*(5), 1339–1342.
- Piedro Da Silva, A. (2013). *Caracterización e influencia de los factores de producción en el cebo de cerdos en condiciones comerciales [Tesis de Doctorado]*. Universidad Autónoma de Barcelon, España.
- Plastow, G., Carrión, D., Gil, M., Garcí-Regueiro, J., Font, M., Furnols, I., Gispert, M., Oliver, M., Velarde, A., Guárdia, M., Hortós, M., Rius, M., Ságarrá, C., Díaz, I., Valero, A., Sosnicki, A., Klont, R., Dornan, S., Wilkinson, J., ... Blott, S. (2005). Quality pork genes and meat production-A review. *Meat Science*, *70*, 409–421.
- Puente, J., Carcelén, F., Ara, M., Bezada, S., Huamán, A., Santillan, G., Perales, R., Guervara, J., & Ascencios, A. (2019). Effect of supplementation with increasing levels of probiotics on the histomorphometry of the small intestine of guinea pig (*Cavia porcellus*). *Ren Inv Vet Perú*, *30*(2), 624–633.
- Ramos-Canché, M. E. (2020). *Niveles de energía y proteína en la dieta del cerdo pelón mexicano: Comportamiento productivo y características de la canal [Tesis Doctoral]*. Tecnológico Nacional de México, Yucatán, México.
- Righi, F., Pitino, R., Manuelian, C., Simoni, M., Quarantelli, A., De Marchi, M., & Tsiplakou, E. (2021). Plant feed additives as natural alternatives to the use of synthetic antioxidant vitamins on poultry performances, health and oxidative status: A review of the literature in the last 20 years. *Antioxidants*, *10*, 659.

- Ringuelet, J., & Viña, S. (2013). Capítulo 4. Compuestos fenólicos. In *Productos Vegetales Naturales* (pp. 91–150).
- Rodríguez, B. de J., Aranzazu, D., Giraldo, G. E., Álvarez, L. C., Cano, E. M., & Isaza, B. (2004). Prevalencia de enteropatía proliferativa porcina y caracterización histopatológica de las lesiones asociadas en cerdos sacrificados en el Matadero Municipal de Medellín, Colombia. *Rev Col Cienc Pec*, *17*(1), 11–19.
- Rucker, R., Keen, C., & Steinberg, F. (2014). Vitamins and food-derived biofactors. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 356–377).
- Ruiz Carrascal, J., Martin, D., & Ventanas, S. (2004). *La calidad de la carne en porcino* (pp. 14–33).
- Sanda, V., Mihai, L., Stefania, R., Dragomir, C., & Taranu, I. (2019). Red grape pomace rich in polyphenols diet increases the antioxidant status in key organs—kidneys, liver, and spleen of piglets. *Animals*, *9*(4), 129.
- Sandoval-Ramírez, B. A., Catalán, Ú., Pedret, A., Valss, R. M., Motilva, M. J., Rubió, L., & Solá, R. (2021). Exploring the effects of phenolic compounds to reduce intestinal damage and improve the intestinal barrier integrity: A systematic review of in vivo animal studies. *Clinical Nutrition*, *40*(4), 1719–1732.
- Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S., & Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: an overview. *Renewable Energy*, *37*(1), 19–27.
- Segarra-Zenteno, E. B., Salinas-Cueva, L. R., & López-Crespo, G. E. (2018). Calidad de la canal de cerdos en la industria porcina de Ecuador: Artículo de revisión. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, *2*(2), 118–131.
- Serra, V., Salvatori, G., Pastorelli, G., & Romero, C. (2021). Dietary polyphenol supplementation in food producing animals: effects on the quality of derived products. *Animals*, *11*(2), 401.
- Shi, J., Yu, J., Pohorly, J., & Kakuda, Y. (2003). Polyphenolics in grape seeds-biochemistry and functionality. *J Med Food*, *6*, 291–299.
- Simek, J., Grolichova, M., Steinhäuserova, I., & Steinhäuser, L. (2004). Carcass and meat quality of selected final hybrids of pigs in the Czech Republic. *Meat Science*, *66*, 383–386.
- Soares, H. M., Valente Teixeira Júnior, D., De Amorim Rodrigues, G., Lopes Cunha Júnior, R., Cipriano Rocha, G., Bohrer, B., Juárez, M., De Souza Duarte, M., & Saraiva, A. (2022). Effects of feeding ractopamine hydrochloride with or without supplemental betaine on live performance, carcass and meat quality traits, and gene expression of finishing pigs. *Meat Science*, *191*, 108851.
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D’Croz, D. M., Wiebe, K., Leon Bodirsky, B., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S., Herrero, M., Carlson, K., Jonell, M., Troel, M., DeCleckr, F., Gordon, L., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, *562*, 519–525.
- Stewart, M., Zipser, M., & Watts, B. (1965). The use of reflectance spectrophotometry for the assay of raw meat pigments. *Journal of Food Science*, *30*(3), 464–469.
- Suman, S. P., & Joseph, P. (2013). Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review of Food*

Science and Technology, 4, 79–99.

- Sumano, H., Ocampo, L., & Gutierrez, L. (2002). Clenbuterol and other β -agonists, are they an option for meat production or a threat for public health?. *Vet Mex*, 33(22), 137–159.
- Tang, K. L., Caffrey, N., Nóbrega, D., Cork, S., Ronksley, P., Barkema, H., Polachek, A., Ganshorn, H., Sharma, N., Kellner, J., & Ghali, W. (2017). Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(8), 316–327.
- Taranu, I., Habeanu, M., Gras, M. A., Pistol, G. C., Lefter, N., Palade, M., Ropota, M., Sanda, V., & Marin, D. E. (2018). Assessment of the effect of grape seed cake inclusion in the diet of healthy fattening-finishing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 30–42.
- Tarladgis, B. G., Younathan, M. T., & Dugan, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *The Journal of the American Oil Chemists Society*, 37, 44–48.
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2019). Review of high-value food waste and food residues biorefineries with focus on unavoidable wastes from processing. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 413–426.
- Trombetta, F., Fruet, A., Stefanello, F., Fonseca, P., Soueza, A., Tonetto, C., Rosado Júnior, A., & Nornberg, J. (2019). Effects of the dietary inclusion of linseed oil and grape pomace on weight gain, carcass characteristics, and meat quality of swine. *International Food Research Journal*, 26(6), 1741–1749.
- USDA. (2019). *FoodData Central: Pork, fresh, loin, center loin (chops), bone-in, separable lean and fat, raw*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168238/nutrients>
- USDA. (2022). *Livestock, Dairy, and Poultry Outlook*. Fuente consultada de marzo de 2023 en: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=103951>
- Valadez-García, K. M., Avendaño-Reyes, L., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Díaz-Molina, R., González-Ríos, H., & Macías-Cruz, U. (2021). Ferulic acid in animal feeding: Mechanisms of action, productive benefits, and future perspectives in meat production. *Food Bioscience*, 43, 101247.
- Valenzuela-Grijalva, N., Jiménez-Estrada, I., Mariscal-Tovar, S., López-García, K., Pinelli-Saavedra, A., Peña-Ramos, E., Muhlia-Amazan, A., Zamorano-García, L., Valenzuela-Melendres, M., & Gonzales-Ríos, H. (2021). Effects of ferulic acid supplementation on growth performance, carcass traits and histochemical characteristics of muscle fibers in finishing pigs. *Animals*, 11(88), 2455.
- Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Amazan, A., Domínguez-Días, D., & González-Ríos, H. (2017). Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of Animal Science and Technology*, 59(8).
- Vargas-Corredor, Y. A., & Pérez-Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59–72.

- Ventanas, S., Ventanas, J., & Ruíz, J. (2007). Sensory characteristics of Iberian dry-cured loin: influence of crossbreeding and rearing system. *Meat Science*, 75, 211–219.
- Vlaicu, P. A., Panaite, T. D., Cornescu, M. G., Ropota, M., Olteanu, M., & Dragotoiu, D. (2019). The influence of by-products on the production parameters and nutrient digestibility in fatering pigs diet (60-100). *AgriLife Scientific Journal*, 8(1), 261–269.
- Wang, H., Wang, J., Yang, D., Liu, Z., Zeng, Y., & Chen, W. (2020). Expression of lipid metabolism genes provides new insights into intramuscular fat deposition in Laiwu pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(3), 390–397.
- Wang, W., Li, F., Duan, Y., Guo, Q., Zhang, L., Yang, Y., Yin, Y., Han, M., Gong, S., Li, J., He, S., & Yin, Y. (2022). Effects of Dietary Chlorogenic Acid Supplementation Derived from *Lonicera macranthoides* Hand-Mazz on Growth Performance, Free Amino Acid Profile, and Muscle Protein Synthesis in a Finishing Pig Model. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022, 6316611.
- Wang, W., Wen, C., Guo, Q., Li, J., He, S., & Yin, Y. (2021). Dietary Supplementation With Chlorogenic Acid Derived From *Lonicera macranthoides* Hand-Mazz Improves Meat Quality and Muscle Fiber Characteristics of Finishing Pigs via Enhancement of Antioxidant Capacity. *Frontiers in Physiology*, 12, 650084.
- Wang, Y., Chen, X., Huang, Z., Chen, D., Yu, B., Yu, J., Chen, H., He, J., Luo, Y., & Zheng, P. (2020). Dietary ferulic acid supplementation improves antioxidant capacity and lipid metabolism in weaned piglets. *Nutrients*, 12 (12), 3811. <https://doi.org/10.3390/nu12123811>
- Wang, Y., Wang, W., Meng, Z., Duan, Y., An, X., & Qi, J. (2019). Dietary supplementation of ferulic acid improves performance and alleviates oxidative stress of lambs in a cold environment. *Canadian Journal of Animal Science*, 99, 705–712.
- Webster, M., Goodband, R., Tokach, M., Nelssen, J., Dritz, S., Unruh, J., & Brown, D. (2007). Interactive effects between ractopamine hydrochloride and dietary lysine on finishing pig growth performance, carcass characteristics, pork quality, and tissue accretion. *Prof Anim Sc*, 23, 597–611.
- Yan, L., & Kim, I. (2011). Effect of dietary grape pomace fermented by *Saccharomyces boulardii* on the growth performance, nutrient digestibility and meat quality in finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(12), 1763–1770.
- Yang, Z., & Liao, S. (2019). Physiological Effects of Dietary Amino Acids on Gut Health and Functions of Swine. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 2297–1769.
- Zhang, C., Luo, J., Yu, B., Ping, Z., Huang, Z., Mao, X., He, J., Yu, J., Chen, J., & Chen, D. (2015). Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status. *Meat Science*, 102, 15–21.
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Joo-Lee, E., & Ahn, D. (2010). Improving functional value of meat products. *Meat Science*, 86(1), 15–31.
- Zhang, Y., Wang, Y., Chen, D., Yu, B., Zheng, P., Mo, X., Luo, Y., Li, Y., & He, J. (2018). Dietary chlorogenic acid supplementation affects gut morphology, antioxidant capacity and intestinal selected bacterial populations in weaned piglets. *Food & Function*, 9, 4968–4978.