UEA Agropecuaria
PrePrint UEA

Sección Agroindustria
Vol. AGI2526. ep01–1017

| Recibido: 09/03/2026 |
| Aceptado: 07/04/2026 |
| Publicado: 17/11/2026 |

Matriz de tecnologías y productos para el aprovechamiento agroindustrial del cerdo (*Sus scrofa domesticus*)

Matrix of technologies and products for the agro-industrial use of the pig (*Sus scrofa domesticus*)

Helen Stefanya Jaramillo Piezo[1], Milver Patricio Kuja Wachapa[1] Amaury Pérez Martinez[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2526ep01-1017 Crossref

Resumen

El aprovechamiento agroindustrial del cerdo (*Sus scrofa domesticus*) facilita la organización sistemática de tecnologías y una amplia diversidad de productos derivados alimenticios, farmacéuticos, para alimentación animal, bioenergía y fertilizantes, maximizando el valor económico y reduciendo los residuos generados. El objetivo de este documento es desarrollar una matriz que permita identificar tecnologías, materias primas y productos para el aprovechamiento agroindustrial del cerdo. Se empleó parcialmente la metodología PRISMA en bases de datos como Scopus, ScienceDirect, PubMed y Web of Science, complementada con análisis de tendencias en Google Trends. Los resultados revelan un aumento sostenido de publicaciones científicas, con concentración geográfica en Asia y predominio de publicaciones en inglés. La matriz sistematiza rutas con alta madurez tecnológica (TRL 9 Technology Readiness Level) que transforman todas las distintas partes de la anatomía del cerdo en productos de alto valor: alimenticios (jamón, salchicha, tocino, manteca, chicharrón, morcilla, gelatina), farmacéuticos (colágeno), alimento animal (harina proteica de vísceras y sangre), bioenergía (biogás de estiércol) y fertilizantes (compost). Operaciones clave como troceado, enfriado, filtración, mezclado, secado y cocción aseguran seguridad, calidad y escalabilidad. Esta herramienta demuestra que el cerdo genera diversas categorías de productos organizados, convirtiendo subproductos en recursos valiosos.

Palabras clave

desarrollo agroindustrial, industria porcina, industria alimentaria, industria farmacéutica, industria energética.

Abstract

The agro-industrial use of pigs (*Sus scrofa domesticus*) facilitates the systematic organization of technologies and a wide variety of derived products, including food, pharmaceuticals, animal feed, bioenergy, and fertilizers, maximizing economic value and reducing waste. The objective of this document is to develop a matrix that allows for the identification of technologies, raw materials, and products for the agro-industrial use of pigs. The PRISMA methodology was partially employed in databases such as Scopus, ScienceDirect, PubMed, and Web of Science, complemented by trend analysis using Google Trends. The results reveal a sustained increase in scientific publications, with a geographic concentration in Asia and a predominance of publications in English. The matrix systematizes pathways of high (TRL 9 Technology Readiness Level) that transform all the different parts of the pig's anatomy into high-value products: food (ham, sausage, bacon, lard, cracklings, blood sausage, gelatin), pharmaceuticals (collagen), animal feed (protein meal from offal and blood), bioenergy (biogas from manure), and fertilizers (compost). Key operations such as chopping, cooling, filtering, mixing, drying, and cooking ensure safety, quality, and scalability. This tool demonstrates that pigs generate diverse categories of organized products, turning byproducts into valuable resources.

Keywords

agro-industrial development, pig farming, food industry, pharmaceutical industry, energy industry.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: hs.jaramillop@uea.edu.ec, mp.kujaw@uea.edu.ec, amperez@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Helen Stefanya Jaramillo Piezo. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: hs.jaramillop@uea.edu.ec

Cómo citar

JARAMILLO PIEZO, Helen Stefanya, KUJA WACHAPA, Milver Patricio and PÉREZ MARTINEZ, Amaury 2026. Matriz de tecnologías y productos para el aprovechamiento agroindustrial del cerdo (*Sus scrofa domesticus*). PrePrint UEA. Vol. AGI2526. p. ep01–1017. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2526ep01-1017

Editores Académicos Billy Daniel Coronel Espinoza

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

La transformación agroindustrial del cerdo es una de las actividades de mayor importancia tanto económica como nutricional en el mundo ya que constituye una fuente principal de proteínas de origen animal de alta calidad accesible para la población por su alta eficiencia en conversión alimenticia, su adaptabilidad a sistemas de producción que se innovan con el pasar de los años y por su capacidad de transformar recursos o subproductos de origen agrícola en biomasa comestible y no comestible con valor agregado (FAO 2023).

En este contexto, la elaboración de matrices de productos y cadenas de valor se ha consolidado como una herramienta estratégica para sistematizar y optimizar dicho aprovechamiento. Ejemplos representativos incluyen el documento "Añadiendo valor a la diversidad ganadera", elaborado por la FAO, LPP, LIFE Network, UICN-IMPS (2011) y el "Análisis de la cadena de valor de la carne de cerdos y sus derivados", desarrollado por Jarquín (2012) en ambos estudios se detalla el desarrollo para subproductos porcinos y el análisis detallado de la cadena productiva porcina. En varios países

en vías de desarrollo o emergentes la producción porcina no solo contribuye significativamente al PIB (Producto Interno Bruto) del país en cuestión, a la generación de empleos en zonas rurales y a la seguridad alimentaria, sino que también genera una gama de subproductos que pueden ser industrializados, lo cual incrementa la rentabilidad del sector y promueve una economía circular mucho más sostenible y amigable con el ambiente (Papatsiros, Tsekouras, Papakonstantinou, Kamvysi, Eliopoulos, Fotos, Arapoglou, Meletis, Michailidis, Gougoulis 2025).

Tradicionalmente, el aprovechamiento del cerdo se centra en la carne como producto principal ya que representa un porcentaje superior al 60% del peso total del animal tras el proceso del faenamiento (Rodríguez, Leiva, González, Mesa 2021). Sin embargo, el cerdo ofrece un aprovechamiento mucho más amplio ya que de él se obtiene: grasa, piel, huesos, sangre, vísceras, patas, cabeza y otros derivados (Toldrá, Mora, Reig 2016). Estos subproductos en el pasado eran considerados residuos de bajo valor o hasta en algunas ocasiones como desechos, pero hoy en día son la materia prima principal en el desarrollo de distintos productos utilizados y comercializados en diferentes industrias, como la alimentaria, farmacéutica, fertilizantes, energética y de alimentación animal (Bou, Pinotti, Zeugolis, Watigny, Álvarez 2025).

Diversos estudios e investigaciones han documentado procesos industriales como la extracción de colágeno y gelatina tanto de piel como de los huesos, la obtención de harinas con alto contenido proteico de subproductos no comestibles, la producción de embutidos a partir de vísceras y sangre, y la producción de biogás a partir del estiércol, lo cual demuestra un manejo eficiente que puede elevar el rendimiento económico del animal entre un 20% a un 40% adicional con respecto a solo el aprovechamiento cárnico (Toldrá, Reig, Mora 2021).

A pesar de estos avances en diversas regiones de pequeña o mediana escala persisten algunas limitaciones importantes ya que la mayoría de las operaciones de procesamiento del cerdo se concentran en la comercialización de canales o cortes frescos congelados, con un bajo nivel de industrialización de subproductos (Papatsiros, Tsekouras, Papakonstantinou, Kamvysi, Eliopoulos, Fotos, Arapoglou, Meletis, Michailidis, Gougoulis 2025); esto genera una cantidad de desperdicios significativos, contaminación ambiental, pérdidas de oportunidades de valor agregado y menor competitividad frente a sistemas mucho más integrados como los de Europa, Norteamérica y Asia (Zhang, Mao, Chen, Hu, Wang, Lu, Wang 2024).

Aunque existen tecnologías disponibles para el procesamiento de subproductos, la falta de una sistematización organizada entre el procesamiento de las materias primas resultantes del faenamiento del cerdo, los productos finales obtenibles y sus mercados potenciales, crea una brecha que limita el desarrollo de cadenas de valor más fuertes, la diversificación de productos y la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental del procesamiento del cerdo. El objetivo del presente documento es desarrollar una matriz que permita identificar las tecnologías, materias primas y productos para el aprovechamiento agroindustrial del cerdo.

2. Metodología

Se empleó parcialmente la metodología PRISMA diseñada por Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li, Loder, Mayo-Wilson, McDonald, McGuinness, Stewart, Thomas, Tricco, Welch, Whiting, Moher, Yepes-Nuñez, Urrútia, Romero-García, Alonso-Fernández (2021), como guía para desarrollar una revisión sistemática enfocada en las tecnologías emergentes aplicadas a la transformación de materias primas en el sector pecuario. Para ello, se realizaron consultas dentro de bases de datos científicas como *Scopus, ScienceDirect, PubMed, Web of Science* y *Google Trends* para estadísticas geográficas, empleando combinaciones de términos relacionados (incluyendo términos clave en inglés, *OR & AND*). Lo que facilitó la identificación, evaluación crítica y síntesis de evidencia relevante sobre el tema de estudio, tal como se detalla en la **Figura 1**. Así también, la **Tabla 1** detalla todos los métodos que verifican el protocolo PRISMA, su organización cronológica para la investigación, el proceso metodológico, además de artículos científicos indexados y literatura técnica validada. Este enfoque permitió organizar de manera transparente cada una de las etapas de búsqueda, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios analizados.

Para analizar el interés global y regional sobre la transformación de las materias primas del cerdo, se realizó un estudio sistemático combinando tendencias de búsqueda y revisión académica. Con *Google Trends* se evaluó la evolución del interés público entre 1996 y 2026 mediante términos relacionados con el procesamiento del cerdo, identificando los países con mayor relevancia. Paralelamente, se revisó literatura científica en bases especializadas utilizando las palabras clave previamente seleccionadas, lo que permitió contrastar la demanda de información con la producción científica disponible.

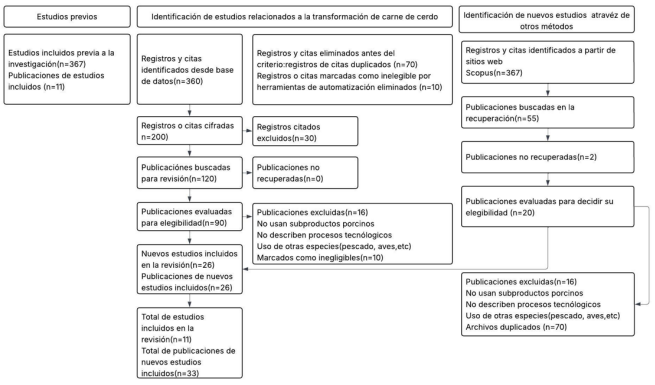

Figura 1 | Diagrama PRISMA. Modificado de Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li, Loder, Mayo-Wilson, McDonald, McGuinness, Stewart, Thomas, Tricco, Welch, Whiting, Moher, Yepes-Nuñez, Urrútia, Romero-García, Alonso-Fernández (2021).

Asimismo, se detectó que muchos estudios aplican el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) sin detallar sus criterios de evaluación, lo que evidencia la necesidad de metodologías más consistentes para valorar tecnologías emergentes en el

sector porcino. Además, se efectuó un análisis para la identificación de operaciones más recurrentes en los procesos tecnológicos. Al definir las matrices tecnológicas se desarrolló una ruta enfocada en los procesos productivos, cuyo objetivo es el de reducir tanto el impacto ambiental como la generación de residuos y aprovechar en mayor medida los recursos. Para la construcción de esta ruta se utilizó la herramienta en línea *Lucidchart* (Vinocunga-Pillajo, Romero-Vistín, Jiménez-Tamayo, Sánchez-Vallejo, Guardado-Yordi, Pérez-Martínez 2025).

Tabla 1 | Métodos para la verificación de PRISMA. Adaptado de Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li, Loder, Mayo-Wilson, McDonald, McGuinness, Stewart, Thomas, Tricco, Welch, Whiting, Moher, Yepes-Nuñez, Urrútia, Romero-García, Alonso-Fernández (2021).

Métodos	Descripción
Criterios de elegibilidad	Se incluyeron estudios publicados entre 1996 y 2026, en inglés o español, que describieran la aplicación de tecnologías emergentes en el sistema pecuario, específicamente en procesos de transformación del cerdo y sus subproductos. Se excluyeron artículos sin acceso completo, sin datos verificables o que no abordaran procesos tecnológicos.
Fuentes de información	La recopilación de información se inició con una búsqueda bibliográfica rigurosa en motores de búsqueda y bases de datos clave, incluyendo *ScienceDirect*, *Scopus*, *SciELO*, Google Académico, *Dialnet* y *Taylor & Francis*. Mediante la combinación de términos de búsqueda en español e inglés, se identificaron inicialmente 367 documentos, maximizando así la recopilación de información pertinente para la investigación.
Estrategias de búsqueda	Se emplearon combinaciones de términos clave utilizando operadores booleanos (*AND/OR*): en el Biogas y Abono; *"pork+manure or meat+anaerobic or bioprocessing"*, en el alimento animal;"*pork industry OR extraction+blood+meal OR protein*", en lo farmacéutico; "*Collagen+By-products+Acid or alkali extraction+Gels*" y finalmente, para productos alimenticios las palabras clave que se usaron fue;" *pork OR pig AND cracklings OR lard OR bacon OR ham OR sausage AND composition OR QUALITY OR processing OR fortification OR rendering AND fat OR vitamin D OR fatty acids*", así como términos equivalentes en español. Se aplicaron filtros de año, idioma y área temática.
Procesos de selección de estudio	Se revisó el texto completo, excluyendo estudios no relacionados con procesos de transformación pecuaria o aprovechamiento agroindustrial del cerdo (*Sus scrofa domesticus*). Solo se incluyeron investigaciones que precisan información sobre las transformaciones que sufre el cerdo para la elaboración de ciertos productos, pertinencia temática y evidencia científica. Se excluyeron un total de 16 publicaciones debido a que no empleaban subproductos porcinos, no describían procesos tecnológicos o abordaban el uso de materias primas provenientes de otras especies (como pescado y aves). Adicionalmente, se marcaron como no elegibles 10 documentos que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos para la revisión.
Procesos de extracción de datos	Se recopilaron datos relacionados con: tipo de tecnología emergente aplicada, parámetros operativos, mejoras productivas, eficiencia energética, valorización de subproductos, sostenibilidad ambiental y calidad del producto final. La información se registró en matrices comparativas para su análisis sistemático.
Lista de datos	Durante la depuración de los artículos identificados en *Scopus*, se aplicaron criterios de exclusión específicos para asegurar que cada estudio estuviera relacionado con la transformación de subproductos porcinos. De los registros se descartaron los trabajos que no empleaban materia prima porcina o que no describían procesos tecnológicos vinculados. Finalmente, 11 artículos cumplieron con los criterios establecidos y fueron incluidos en el análisis.

La **Tabla 1** muestra los métodos utilizados para la verificación de la metodología PRISMA, abarcando los criterios de elegibilidad, fuentes de información, estrategias de búsqueda, procesos de selección de estudio, extracción de datos y la lista de datos organizada cronológicamente.

Luego de identificar los productos que se obtienen del cerdo (*Sus scrofa domesticus*), se identificó el Nivel de Madurez Tecnológico de cada producto investigado, con el fin de determinar su posible escalamiento industrial. Se desarrolló una matriz enfocada en las tecnologías específicas de cada producto. Además, se realizó un análisis para identificar las operaciones que más se repiten en los procesos tecnológicos, asumiendo dos o más combinaciones. Con las matrices tecnológicas definidas, se diseñó la ruta orientada en los procesos productivos, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental, priorizando la reducción y el aprovechamiento de los residuos generados (Vinocunga-Pillajo, Romero-Vistín, Jiménez-Tamayo, Sánchez-Vallejo, Guardado-Yordi, Pérez-Martínez 2025) Para la construcción de esta ruta se utilizó la herramienta en línea *Lucidchart*.

3. Resultados y discusión

3.1. Comportamiento de las publicaciones sobre la transformación de materias primas del cerdo (Sus scrofa domesticus)

La **Figura 2**, muestra de manera gráfica la tendencia temporal del interés de búsqueda, evolución anual de los artículos (1995-2023), cantidad de investigaciones por países según la investigación (pork+processing) y (procesamiento+cerdo).

La **Figura 2A**, existe limitación de información de datos, debido al origen de existencia de *Google Trends*, ilustra las variaciones del interés de búsqueda en Google (2004-2026) para los términos *"Pork + processing"* y "procesamiento + cerdo". Se observa que el término en inglés *"Pork + processing"* presenta un crecimiento sostenido, especialmente desde 2022. En cambio, el término en español "procesamiento+cerdo" mantiene un nivel de búsqueda más bajo y estable durante todo el periodo evaluado.

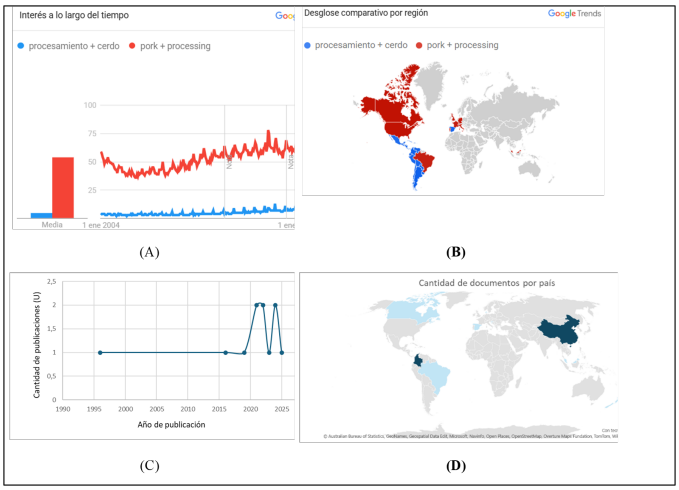

Figura 2 | Distribución global de publicaciones relacionadas con el procesamiento de subproductos del cerdo. A) Análisis del comportamiento de las búsquedas (procesamiento+cerdo) y (pork+processing) en Google Trends. B) Ubicaciones donde se ha utilizado con más frecuencia los términos (procesamiento+cerdo) y (pork+processing) según Google Trends. C) Evolución anual de las publicaciones (1995-2025). D) Cantidad de publicaciones por país.

Mientras que la **Figura 2B**, muestra la distribución geográfica del interés por los términos *"Pork + processing"* y "procesamiento más cerdo" en el mismo periodo analizado. Las regiones donde predomina *"Pork + processing"* aparecen destacadas, principalmente en Norteamérica, Europa, Asia y algunas zonas de Sudamérica, principalmente Brasil. En contraste, el término en español "procesamiento+cerdo" presenta mayor uso en países hispanohablantes de Centroamérica y Sudamérica. Las áreas sin color reflejan falta de datos o que las búsquedas han sido en un idioma diferente al español o inglés, las áreas en color rojo evidencian una

tendencia hacia el término en inglés, mientras que el español se concentra en regiones específicas representadas por el color azul.

La **Figura 2C**, muestra cómo las diferentes publicaciones con respecto al procesamiento del cerdo de lenguaje inglés, donde se mantienen de una forma constante a través de los años, manteniendo picos que duplican la cantidad de documentos publicados antes de volver al estado inicial de publicaciones.

Mientras que la **Figura 2D**, muestra la distribución geográfica de las publicaciones relacionadas con el tema analizado. En el mapa se observa que China es el país con mayor producción científica, representado con el tono azul más intenso. También se identifican contribuciones de Estados Unidos, Ecuador y, en menor medida, Rusia, que aparecen con tonalidades más claras, indicando una menor cantidad de documentos. En conjunto, la visualización evidencia una concentración relevante de estudios en Asia, mientras que América y Eurasia presentan participaciones más discretas.

La **Figura 2** revela patrones claros en el interés y la producción científica sobre la transformación de materias primas porcinas, destacando una desigualdad lingüística y geográfica. El mayor interés en búsquedas y publicaciones en inglés refleja la globalización de la investigación en la industria porcina, dominada por países de alto volumen productivo como China y Estados Unidos, donde el inglés es el idioma principal de la ciencia (Roppa, Duarte, Kim 2024). El término "*pork + processing*" muestra un crecimiento sostenido desde 2022, posiblemente impulsado por preocupaciones globales sobre sostenibilidad, valorización de subproductos y economía circular en la industria porcina, temas que han ganado relevancia post-pandemia y ante desafíos ambientales (FAO 2023).

En contraste, el bajo y estable interés en "procesamiento + cerdo" indica una brecha en la producción científica en países hispanohablantes, donde la investigación es menor y más localizada en zonas de Sudamérica (Roppa, Duarte, Kim 2024). La **Figura 2D** confirma la concentración asiática, con China como líder absoluto, alineándose con su posición como mayor productor mundial de cerdo con aproximadamente 50% de la producción global (Kim, Gormley, Jang, Duarte 2024). Esta dominancia se explica por inversiones estatales en investigación, enfoque en eficiencia productiva y manejo de subproductos para reducir impactos ambientales (Mishra, Pede, Arouna, Labarta, Andrade, Veettil, Bhandari, Laborte, Balie, Bouman 2022).

Estos patrones sugieren que la literatura en inglés aborda temas avanzados como biotecnología y valorización integral, mientras que en español predomina el enfoque práctico-local. El aumento reciente podría relacionarse con la transición hacia modelos circulares, donde subproductos se convierten en recursos de alto valor.

3.2. Análisis de la transformación industrial de productos cárnicos derivados del cerdo

La **Tabla 2**, presenta una caracterización comparativa de productos cárnicos procesados, indicando su Nivel de Madurez Tecnológica (TRL), las principales etapas del proceso industrial y las condiciones operativas asociadas (temperatura, tiempo, pH, actividad de agua y humedad relativa). Esta información permite visualizar el grado de desarrollo tecnológico de cada producto y estandarizar los parámetros clave empleados en su elaboración a nivel industrial.

Tabla 2 | Variedad de productos que proporciona el cerdo, los procesos imprescindibles empleados y las condiciones adecuadas. NR: No reportado

Producto	TRL	Proceso	Condiciones	Referencia
Jamón	9	Troceado	NR	(Toldrá, Mora, Reig 2016)
		Inyección	Salmuera (sal, nitrito de sodio o potasio)	
		Reposo	NR	
		Mezclado	NR	
		Cocción	Temperatura: 72 °C	
			Tiempo: 2 min	
		Enfriado	Temperatura: 5 °C	
Salchicha	9	Molienda	Disco: 8 mm	(Cence, Dequi, Meirelles da Silva, Colet, Junges, Steffens, Zeni, Valduga 2023)
			Temperatura: 5 °C a 7 °C	
		Mezclado	Se añaden condimentos líquidos y en polvo	
		Embutido	Película artificial de colágeno hidratado	
		Ahumado	Temperatura: 38 °C	
			Tiempo: 32 h	
		Madurado	Actividad de agua: <= 0,90	
			pH: <5,6	
			Tiempo: 28 días	
		Secado	NR	

Tocino	9	Troceado	NR	(Vulić, Cvetnić, Kos, Vnučec, Vahčić, Lešić, Simonović, Kudumija, Pleadin 2024)
		Salado	Temperatura: 2 °C a 5 °C	
		Ahumado	Temperatura: <22 °C	
		Secado	Temperatura: 10 °C a 20 °C Humedad relativa: 65 % a 75 %	
		Curado	Temperatura: 8 °C a 18 °C	
Manteca	9	Troceado	Tamaño de corte: 2 cm x 2 cm	(Jithongtong, Sombutsuwan, Chumsantea, Whangsomnuek, Nakornsadet, Lilitchan, Ali, Aryusuk 2025)
		Congelado	Temperatura: -20 °C	
		Renderizado	Temperatura: 170 °C Tiempo: 15 min	
		Filtrado	NR	
		Enfriado	Temperatura: -20 °C	
Chicharrón	9	Troceado	Tamaño de corte: 1 cm x 6,5 cm	(Loznjak, Rahimi, Tonnesen, Corell, Petersen, Hyldig, Jakobsen 2022)
		Salado	Cantidad de sal: 1 g de NaCl (Sal) por cada 100 g	
		Precocción	Temperatura: 85 °C Tiempo: 60 min	
		Tostado	Temperatura: 200 °C Tiempo: 25 min	
Morcilla	9	Filtrado	Concentración: 15 g por 4,5 l de sangre	(Adesiyun, Balbirsingh 1996)
		Mezclado	Se añade sal	
		Embutido	NR	
		Escaldado	Temperatura: 85 °C Tiempo: 10 min a 15 min	
		Escurrido	NR	
		Enfriado	NR	
Gelatina	9	Lavado	NR	(Sompie, Surtijono, Pontoh, Lontaan 2015)
		Neutralizado	Reactivo: Ácido fórmico pH: 7	
		Troceado	Tamaño: 2 cm x 2 cm	
		Remojo	Reactivo: Ácido acético Molaridad: 0,5 M Concentración: 2 % ,4%, 6% (v/v) Tiempo: 24 h	
		Neutralizado	pH: 6	
		Extracción	Temperatura 1: 50 °C Tiempo: 3 h Temperatura 2: 55 °C Tiempo: 3 h Temperatura 3: 60 °C Tiempo: 3 h	
		Filtrado	NR	
		Concentración	Temperatura: 70 °C Tiempo: 5 h	
		Enfriado	Temperatura: 5 °C a 10 °C Tiempo: 30 min	
		Secado	Temperatura: 60 °C Tiempo: 24 h a 36 h	
		Molienda	NR	

Colágeno	9	Troceado	NR	(Salim, Madhan, Glattauer, Ramshaw 2024)
		Extrusión	NR	
		Secado	Tiempo: 3 días a 6 días	
			Temperatura: 20 °C	
		Mezclado	Glicerina + Sulfato de Calcio	
		Cocción	Temperatura: 65 °C a 75 °C	
			Tiempo: 20 min a 30 min	
		Filtrado	NR	
Harina de sangre	9	Recolección	NR	(Borges, Odila, Voss, Martins, Almeida, Pintado 2026)
		Cocción	Temperatura: 82 °C a 85 °C	
		Secado	Temperatura: 125 °C a 145 °C	
		Pulverizado	NR	
Biogás	9	Pretratamiento	Temperatura: 4 °C	(Mosquera, Delgado, Ramón, Vásquez, Peñuela 2024)
			Sólidos Totales: 2,5 %	
			Sólidos Volátiles: 1,6 %	
		Digestión anaerobia	Temperatura:30 °C a 40 °C	
			TRH (Tiempo de retención hidráulico): 11 días.	
			COV (Carga orgánica volumétrica): 1,5 kg de DQO (Demanda química de oxígeno) m^3/día	
Compost	9	Pretratamiento	Mezcla de estiércol con paja de trigo.	(Lu, Lu 2019)
			Humedad: 50 % a 60 %	
			pH: 5 a 7	
		Compostaje	Tiempo: 30 días	
			Temperatura: 25 °C a 45 °C	
		Estabilización	NR	

3.2.1 Productos Alimenticios

3.2.1.1. Tecnología para la obtención de Jamón

Para la elaboración de la salmuera se utiliza sal, nitrito de sodio o potasio el cual es inyectado al jamón ayudándonos de agujas. Después de la inyección el jamón se deja reposar por algunos minutos para asegurar que los diferentes aditivos que contiene la salmuera impregnen toda la pieza, se insertan las piezas en la mezcladora rotativa y se realiza una rotación suave o a baja velocidad para evitar daños físicos, este proceso es importante ya que nos ayuda a que exista una interacción de las sales de procesamiento con las proteínas de las miofibrillas de la carne (Toldrá, Mora, Reig 2016).

La carne se coloca en moldes para prepararlos para la cocción a una temperatura de 72 °C durante 2 minutos en todas las partes del jamón, este proceso permite reducir la carga microbiana e inactivar patógenos, eliminar microorganismos de deterioro y mejorar las características sensoriales del jamón. Los moldes son enfriados hasta una temperatura de 5 °C antes de desmoldar las piezas de jamón y almacenarlas manteniendo una temperatura inferior a la de 5 °C (Toldrá, Mora, Reig 2016)

El estudio de González, Suárez, Martínez (2009), confirma la criticidad de alcanzar la temperatura mínima de seguri-

dad (68 °C a 72 °C) para la inactivación microbiana, pero también subraya que la cocción cumple la función esencial de desnaturalizar y coagular la matriz proteica (miosina y actina) extraída durante el masajeo, siendo este el mecanismo clave para fijar la textura y la cohesión del producto final.

3.2.1.2. Tecnología para la obtención de salchicha

El proceso describe la elaboración de un embutido secado/curado mediante la molienda de la carne y el picado de la grasa manteniendo la masa a baja temperatura (5 °C a 7 °C), lo cual es crucial para la estabilidad de la emulsión y el control microbiano inicial. Posteriormente, la masa se embute y se somete a un ahumado prolongado (32 horas) a una temperatura interna de 36 °C (Cence, Dequi, Meirelles da Silva, Colet, Junges, Steffens, Zeni, Valduga 2023).

Sin embargo, el estudio de Belleggia, Ferrocino, Reale, Franciosa, Milanović, Garofalo, Cardinali, Boscaino, Cesaro, Rampanti, Cocolin, Aquilanti, Osimani (2024), se identifica que esta temperatura de ahumado es anormalmente alta para un embutido curado que depende de la fermentación; el ahumado en frío se realiza típicamente bajo 25 °C para evitar la cocción y preservar la viabilidad de las bacterias lácticas iniciadoras.

3.2.1.3. Tecnología para la obtención de Tocino

El proceso de elaboración del tocino, caracterizado por un salado inicial a bajas temperaturas (2 °C a 5 °C), un ahumado estricto en frío (inferior a 22 °C), y etapas posteriores de secado (10 °C a 20 °C con 65% a 75% HR) y curado (8 °C a 18 °C), es altamente consistente con los procesos tradicionales de curado de carne de cerdo. Estos parámetros térmicos y de humedad están cuidadosamente diseñados para lograr la seguridad microbiológica, la difusión química y el desarrollo sensorial. La etapa de salado en frío es esencial para controlar patógenos y permitir la acción uniforme del nitrito, mientras que el ahumado a tan baja temperatura asegura que se incorpore el sabor sin cocinar la panceta (Vulić, Cvetnić, Kos, Vnučec, Vahčić, Lešić, Simonović, Kudumija, Pleadin 2024).

El estudio de Casaburi, Piombino, Nychas, Villani, Ercolini (2015), confirma que las temperaturas de curado y secado son cruciales, ya que el control preciso de la humedad relativa (65% al 75%) previene la formación de una capa superficial seca y permite que la maduración prolongada a 8 °C a 18 °C desarrolle los compuestos volátiles característicos del tocino curado, demostrando que todos los parámetros descritos son apropiados para un producto cárnico seco y estable.

3.2.1.4. Tecnología para la obtención de Manteca de cerdo

La grasa de cerdo es cortada en cubos de 2x2 cm, esto para que el procesamiento sea más estandarizado y la cocción sea mucho más uniforme. Los cubos de grasa son almacenados a -20 °C, después son sometidos a un proceso de cocción y separación de la grasa en una freidora de aire a 170 °C durante 15 minutos ya que, aunque en algunos métodos suele hacerse entre en temperaturas inferiores a la mencionada, se utiliza esta temperatura y tiempo para extraer un 78% de manteca de la grasa de cerdo utilizada (Jithongtong, Sombutsuwan, Chumsantea, Whangsomnuek, Nakornsadet, Lilitchan, Ali, Aryusuk 2025).

Este enfoque coincide con lo reportado por Rashid, Liu, Han, Jatoi (2022) quienes indican que el secado en aire caliente a 170 °C permite una elevada recuperación de grasa, cercana al 78%, al favorecer la rápida fusión de los lípidos y su separación de la matriz sólida. No obstante, los autores advierten que estas temperaturas elevadas incrementan la susceptibilidad a la oxidación lipídica, debido a la degradación de triglicéridos insaturados y a la baja presencia de antioxidantes naturales en la manteca, lo que se refleja en mayores valores de peróxidos (PV) y anisidina (AV). Asimismo, destacan que, para contrarrestar este efecto, es indispensable aplicar medidas de protección postproceso, como la filtración para eliminar impurezas y el almacenamiento en botellas oscuras bajo atmósfera de nitrógeno a −20 °C, ya que estas condiciones limitan la exposición al oxígeno y contribuyen significativamente a preservar la estabilidad oxidativa y la calidad final de la manteca de cerdo (Jithongtong, Sombutsuwan, Chumsantea, Whangsomnuek, Nakornsadet, Lilitchan, Ali, Aryusuk 2025).

3.2.1.5. Tecnología para la obtención de Chicharrón

Primero se limpia la piel de cerdo intentando retirar toda la grasa adherida a la piel. Luego se realizan cortes de 1cm de ancho por 6,5cm de largo para luego ser sometidas al proceso de salado donde se le agregarán 1 g de NaCl por cada 100 g de piel de cerdo. Una vez que la piel ha sido salada se sella al vacío y se somete al método de preparación *Sous Vide* durante una hora a 85 °C, esto con el objetivo de tener un control de temperatura mucho más preciso que a nivel tradicional lo cual nos ayuda a obtener una mejor calidad y textura en el producto final, después la piel es trasladada a un horno de aire caliente a 200 °C durante 25 minutos, consiguiendo la textura crujiente de forma más rápida(Loznjak, Rahimi, Tonnesen, Corell, Petersen, Hyldig, Jakobsen 2022).

La alta temperatura en la fase final acelera la oxidación lipídica y la generación de compuestos volátiles. Esto es responsable de la alta volatilidad aromática del chicharrón, generando compuestos como hexanal y nonanal, responsables del aroma a "frito", en cortes porcinos calentados por encima de 180 °C (Guo, Li, Jia, Huang, Liu, Zhang 2021). Adicionalmente, se confirma que las altas temperaturas de procesamiento (180 °C) causan pérdidas significativas de micronutrientes, como la vitamina D3(Loznjak, Rahimi, Tonnesen, Corell, Petersen, Hyldig, Jakobsen 2022).

Además, los estudios de Domínguez, Pateiro, Munekata, Zhang, Garcia, Carpena, Prieto, Bohrer, Lorenzo (2021; Roldan, Antequera, Armenteros, Ruiz 2014) concuerdan que el calentamiento intenso no solo degrada lípidos, sino que también promueve la oxidación de las proteínas, lo que resulta en la pérdida de valor nutricional y la generación de compuestos potencialmente tóxicos.

3.2.1.6. Tecnología para la obtención de Morcilla

La sangre es recogida en envases que contiene NaCl en una concentración de 15 g por 4,5 L de sangre. La sangre y la sal son mezcladas para lograr la desfibrinación, los diferentes aditivos son añadidos y mezclados con la sangre hasta formar una mezcla semisólida. Esta mezcla semisólida es

introducida en una tripa hecha del intestino limpio del cerdo, dicha tripa es limpiada con agua con limón o vinagre, la tripa es llenada con la mezcla y atada por ambos lados antes de ser sometida a cocción a una temperatura de 85 °C durante 10 min a 15 min. Finalmente se deja escurrir colgada en la pared a temperatura ambiente antes de ser almacenado (Adesiyun, Balbirsingh 1996).

Sin embargo, la investigación de Ricci, Martelli, Razzano, Cassi, Lazzi, Neviani, Bernini (2020), identifica áreas de riesgo y falta de detalle. Aunque el uso de sal y la mezcla logran la desfibrinación y la temperatura de cocción de 85 °C es apropiada para la coagulación de las proteínas de la sangre y la pasteurización, se omiten agentes de relleno (cereales o grasa) esenciales para la formación de la mezcla semisólida.

La etapa final de escurrido a temperatura ambiente es un riesgo microbiológico considerable para un producto cocido y altamente perecedero. Según Ricci, Martelli, Razzano, Cassi, Lazzi, Neviani, Bernini (2020), tras la cocción, es imperativo un enfriamiento rápido (a menudo en agua fría) seguido de refrigeración (bajo 4 °C) para minimizar el tiempo que el producto permanece en la zona de peligro, garantizando la seguridad alimentaria y la vida útil del producto.

3.2.1.7. Tecnología para la obtención de Gelatina

En el proceso de extracción se utilizaron tres concentraciones de ácido acético (2%, 4% y 6%) y diferentes temperaturas de extracción (50, 55 y 60 °C). Al evaluar la interacción entre concentración de ácido acético y temperatura de extracción en gelatina de piel de cerdo, no se encontró un efecto significativo (P>0,05) entre estos factores sobre la fuerza del gel, viscosidad, contenido de proteína o pH de la gelatina resultante, y los perfiles obtenidos fueron similares entre las concentraciones evaluadas hasta 6% y temperaturas hasta 60 °C. En este estudio, la concentración óptima registrada fue 4% de ácido acético y 55 °C, con gel strength de 134,22 Bloom, viscosidad de 7,16 cP y pH 5,21, lo que sugiere que cambios más allá de estos rangos no alteran sustancialmente las propiedades físico-químicas de la gelatina frente a condiciones comerciales comparable (Sompie, Surtijono, Pontoh, Lontaan 2015).

Por otra parte, Yang, Sha, Wang, Fang, Shu, Tu (2025) en su estudio destaca que el tipo y la intensidad del tratamiento ácido influyen en propiedades funcionales más específicas, como la temperatura de gelación y los perfiles de bandas moleculares de la gelatina extraída. En su estudio, la gelatina de piel de cerdo pretratada con ácido acético, presentó las bandas moleculares más típicas, las temperaturas de gelación y fusión más altas (26,81 °C/34,17 °C) comparadas con otros ácidos, aunque no fue la que más fuerza de gel mostró, hecho observado con HCl en esa investigación, lo que indica que la fuerza de gel y las temperaturas transitorias pueden responder de forma diferente a la acidez del pretratamiento. La relevancia de estos hallazgos radica en que, aunque los parámetros de concentración y temperatura pueden producir gelatinas con propiedades generales similares, ajustarlos con base permite optimizar resultados funcionales deseados (como mayor fuerza de gel o temperaturas de gelación más altas) dependiendo del uso final de la gelatina.

3.2.2 Tecnologías para la obtención de Productos Farmacéuticos

3.2.2.1. Tecnología para la obtención de colágeno

Las pieles se limpian de manera profunda para eliminar grasa, pelo y otras sustancias indeseadas para la extracción, son sumergidas en una solución alcalina, de 3 a 6 días a una temperatura de 20 °C con agitación intermitente para debilitar los enlaces cruzados y las uniones de la triple hélice del colágeno preparándolo para ser disuelto. Posteriormente las pieles hinchadas se secan entre 12 horas y 5 días hasta que la piel a tratar alcanza un contenido de agua entre 35% y 65% haciendo que el colágeno se concentre (Salim, Madhan, Glattauer, Ramshaw 2024).

Una vez que la piel ha sido tratada se procede a realizar el proceso de solubilización que consiste en mezclar la piel con aditivos como glicerina o sulfato de calcio y se somete a cocción, la cocción se realiza por 20 o 30 minutos a una temperatura de 65 °C a 75 °C ya que el calor sumado con los aditivos rompe las uniones finales y libera la proteína del colágeno en forma de una pasta fluida dando como resultado el colágeno termoplástico. La extracción de colágeno se realiza mediante un pretratamiento alcalino que dura de 3 a 6 días para debilitar los enlaces cruzados, seguido de un secado para concentrar la proteína y una solubilización térmica a 65 °C-75 °C (Salim, Madhan, Glattauer, Ramshaw 2024).

En cuanto a la solubilización a 65–75 °C, (Matinong, Chisti, Pickering, Haverkamp 2022) en su estudio coinciden en que el uso de temperaturas moderadas, combinadas con aditivos plastificantes como glicerina o sales minerales, permite completar la ruptura de las uniones residuales sin destruir la estructura primaria de la proteína, favoreciendo la obtención de un colágeno con características termoplásticas y funcionales adecuadas para aplicaciones industriales y biomateriales. Los autores destacan además que el secado intermedio hasta contenidos de humedad entre 35% y 65% cumple un papel clave en la concentración del colágeno, mejorando el rendimiento del proceso térmico posterior.

3.2.3 Alimento animal

3.2.3.1. Tecnología para la obtención de Harina de sangre

Primero se recolecta la sangre, la cual tiene gran valor por su alto contenido proteico que alcanza hasta 80%. La sangre es transferida a una marmita y sometida a un tratamiento térmico alcanzando una temperatura aproximada de 82 °C a 85 °C haciendo que las proteínas de la sangre se coagulen transformándolas en una masa semisólida además de que elimina ciertos patógenos que se pueden encontrar en ella, luego es transferida a una cámara de secado rotatoria a una temperatura de 125 °C y 145 °C para de esta manera reducir la humedad de la sangre a un rango de entre 7,5% a 8,5%, una vez que la sangre ha pasado por las etapas anteriores se obtiene una masa seca la cual se pulveriza y tamiza hasta convertirlo en un polvo fino el cual será utilizado como ingrediente proteico (Borges, Odila, Voss, Martins, Almeida, Pintado 2026).

El control de la temperatura durante el secado es crítico demostraron que la digestibilidad de aminoácidos en la harina

secada por métodos de alta temperatura (*flash-dried*) fue significativamente menor (aproximadamente un tercio) en comparación con los métodos de baja temperatura (spray-dried) (Navarro, Mathai, Jaworski, Stein 2018). Esto subraya que la combinación de temperatura y tiempo influye irreversiblemente en la calidad de la proteína porcina.

3.2.4 Abono y energía

3.2.4.1. Tecnología para la obtención de Biogás

El estiércol de cerdo es acondicionado a una temperatura de 4 °C, con una composición de 2,5% de Sólidos Totales y 1,6% de Sólidos Volátiles, para que el sustrato sea apto para su respectivo procesamiento. El reactor UASB(*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) es inoculado con lodo anaerobio granular y sirve como motor, operando a una temperatura de 30 °C a 40 °C, con un TRH (Tiempo de retención hidráulico) de 11 días y una COV (Carga orgánica volumétrica) de 1,5 kg de DQO m3/día. Ya que posee una alta concentración de microorganismos activos que realizarán la etapa de digestión anaerobia, en esta etapa los microorganismos rompen la materia orgánica compleja en moléculas más simples, seguidamente en la acetogénesis los ácidos grasos volátiles se convierten en acetato, hidrógeno y CO2, posteriormente sigue la etapa de metanogénesis que consiste en que las bacterias metanogénicas consumen el acetato, hidrógeno y CO2 para producir metano el cual es el principal componente del biogás. El reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente, convierte la materia orgánica en metano (CH4) a través de las etapas secuenciales de hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis (Mosquera, Delgado, Ramón, Vásquez, Peñuela 2024).

El rendimiento de metano es altamente sensible a la composición de la biomasa, según (Mosquera, Delgado, Ramón, Vásquez, Peñuela 2024) el estiércol fresco es más eficiente, con un rendimiento de 1,20 m3 de biogás por kilogramo de materia prima, en contraste con el estiércol seco (0,75 m3/kg). Por lo tanto, el acondicionamiento del estiércol inicial es clave para maximizar la eficiencia energética.

En comparación con otros sustratos orgánicos, el estiércol de cerdo suele mostrar un potencial de biogás moderado a alto, de hasta aproximadamente 0,26–0,35 m^3 de metano por kilogramo de sólidos volátiles bajo condiciones estándar de digestión anaerobia, aunque estos rendimientos pueden variar ampliamente según factores como: la composición del sustrato, la temperatura de operación y la eficiencia microbiana del reactor. Esto resalta que no solo el tipo de reactor, sino también la preparación y manejo del estiércol, son elementos críticos para alcanzar altos rendimientos de biogás con una composición elevada de CH4(Metano)(Marcucci, Rosa, Lenzi, Balthazar, Fuziki, Tusset 2025).

3.2.4.2. Tecnología para la obtención de compost

Para la elaboración de compostaje se utiliza una mezcla de estiércol de cerdo con paja de trigo con una humedad del 50% al 60% y un pH de 5 a 7; la paja actúa como agente de volumen, mejorando la porosidad y facilitando la circulación del aire para optimizar la actividad microbiana. Para la elaboración de compostaje se utiliza una mezcla de estiércol de cerdo con paja de trigo con una humedad del 50% al 60% y un pH de 5 a 7; la paja actúa como agente de volumen, mejorando la porosidad y facilitando la circulación del aire para optimizar la actividad microbiana (Lu, Lu 2019).

La digestión anaerobia se lleva a cabo durante 30 días a una temperatura de 25 °C a 45 °C, lo cual es tiempo suficiente para que los microorganismos degraden y estabilicen la materia orgánica, se agregan aditivospara reducir los efectos tóxicos de los metales que pueden inhibir la actividad microbiana. La materia orgánica se descompone y el volumen disminuye dando como resultado una materia oscura y estable. Es una estrategia esencial no solo para la valorización de nutrientes sino para la mitigación de riesgos sanitarios, como la propagación de genes de resistencia a antibióticos (ARGs) (Lu, Lu 2019).

La adición de aditivos es necesaria para reducir los efectos tóxicos de los metales pesados presentes en el estiércol, que pueden inhibir la actividad microbiana. Este hecho es respaldado por el estudio de Zalewska, Błażejewska, Czapko, Popowska (2023), donde sustenta que el compostaje es una estrategia superior al simple almacenamiento, ya que logra una reducción más rápida y pronunciada de los elementos genéticos móviles que transportan los Genes de resistencia a los antibióticos (ARGs).

3.3 Escalabilidad de las tecnologías sobre el procesamiento del cerdo (Sus scrofa domesticus)

El Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) se convierte en un instrumento clave para analizar qué tan viable es llevar a escala las distintas tecnologías aplicadas al procesamiento y transformación de la materia prima porcina, desde sus primeras pruebas experimentales hasta su uso pleno en la industria. Estas tecnologías se organizan dentro de un sistema compuesto por nueve etapas progresivas, que van desde el TRL 1, donde solo existe el planteamiento conceptual del proceso, hasta el TRL 9, que confirma que la tecnología está completamente validada, optimizada y lista para operar de manera comercial dentro de la cadena de valor del cerdo.

Todos los procesos poseen el nivel 9 en el grado de TRL lo cual demuestra que la tecnología utilizada en el desarrollo de dicho producto cumple con todos los estándares y es utilizada actualmente en el mercado para la elaboración de este tipo de productos.

Muchos procesos como el curado, ahumado, secado, producción de gelatina y embutidos— son tecnologías tradicionales con siglos de desarrollo histórico, refinadas durante la industrialización del siglo XX y estandarizadas globalmente (Toldrá, Mora, Reig 2016). Estas operaciones no requieren innovación radical, sino optimizaciones incrementales, lo que las posiciona directamente en TRL 9 al operar en plantas comerciales masivas con cumplimiento de regulaciones estrictas.

La porcicultura es una de las industrias alimentarias más consolidadas y escaladas del mundo, con cadenas de suministro integradas en países líderes como China, EE.UU. y países de Europa. Procesos convencionales como troceado, enfriado, cocción y filtración se implementan rutinariamente en líneas de producción de alto volumen, demostrando fiabilidad operativa real (Toldrá, Mora, Reig 2016). En contraste, tecnologías emergentes como procesamiento de alta presión y robótica avanzada suelen tener TRL 4-7, ya que aún en-

frentan barreras de escalabilidad y costo (Ruan, Chen, Zhou, Zhang, Cheng, Liu, Wang, Dai, Mataya, Lyu, Chiaokhiao, Liu, Cobb 2021).

Además, el enfoque en valorización de subproductos como gelatina, colágeno, harinas utiliza métodos maduros como hidrólisis térmica ampliamente comercializados y regulados, lo que asegura TRL 9 (Borges, Piccirillo, Scalera, Martins, Rosa, Couto, Almeida, Pintado 2022).Esta madurez facilita la adopción inmediata en contextos industriales orientando la investigación hacia la integración de tecnologías con bases consolidadas.

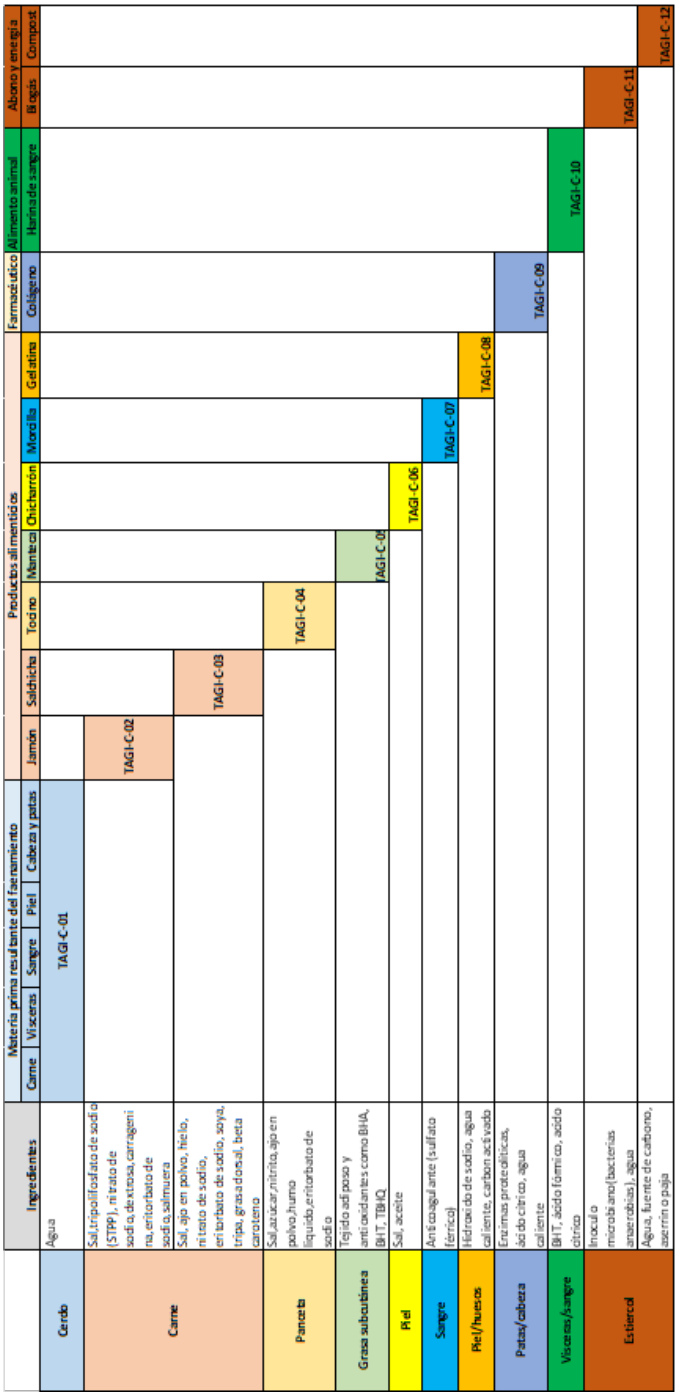

Figura 3 | Productos y sus tecnologías a partir de materias primas del cerdo.

3.4 Matriz y rutas tecnológicas.

En la **Figura 3** se detalla los productos que se obtiene a partir del procesamiento de las diferentes materias primas obtenidas a partir del cerdo tales como su carne, grasa, piel, patas, cabeza, sangre, vísceras y estiércol, los ingredientes que se ocupa, como se clasifican y las tecnologías aplicadas, agrupando ciertas etapas en común que tienen el desarrollo de diferentes productos de tal forma que pueda contar como una tecnología en específico (ejemplo: TAGI-C-01: Faenamiento + Troceado), evitando redundancias de las diferentes tecnologías utilizadas para el desarrollo de los productos en cuestión.

TAGI-C-01: Tecnología para el faenamiento del Cerdo

TAGI-C-02: Tecnología para la obtención de Jamón

TAGI-C-03: Tecnología para la obtención de Salchicha

TAGI-C-04: Tecnología para la obtención de Tocino

TAGI-C-05: Tecnología para la obtención de Manteca

TAGI-C-06: Tecnología para la obtención de Chicharrón

TAGI-C-07: Tecnología para la obtención de Morcilla

TAGI-C-08: Tecnología para la obtención de Gelatina

TAGI-C-09: Tecnología para la obtención de Colágeno

TAGI-C-10: Tecnología para la obtención de Harina de sangre

TAGI-C-11: Tecnología para la obtención de Biogás

TAGI-C-12: Tecnología para la obtención de Compost

La carne, grasa y piel de cerdo son ampliamente utilizadas en la elaboración de productos alimentarios tradicionales y procesados, debido a su alto valor nutricional y funcional (Toldrá, Mora, Reig 2016). Asimismo, la piel, huesos y tejidos conectivos del cerdo constituyen una fuente importante de colágeno y gelatina, compuestos empleados en las industrias alimentaria, farmacéutica y biomédica por sus propiedades estructurales y biocompatibles (Gomez, Gimenez, Lopez, Montero 2011).

Por otra parte, la sangre y las vísceras porcinas no destinadas al consumo humano se transforman en harinas proteicas utilizadas en la alimentación animal, contribuyendo a la reducción de residuos y al aprovechamiento eficiente de nutrientes (Hamilton 2022). Finalmente, el estiércol porcino puede ser valorizado mediante digestión anaerobia para la producción de biogás y mediante compostaje para mejorar la calidad del suelo agrícola, lo que favorece la generación de energía renovable y la mitigación del impacto ambiental asociado a la producción porcina (Marchetti, Vasmara, Fiume 2019). En conjunto, estas prácticas consolidan un enfoque de economía circular que incrementa el valor añadido de los subproductos porcinos y reduce los impactos ambientales del sector

En la **Figura 4** se observa que en la elaboración de los diferentes productos existen 2 etapas que son muy comunes en casi todos los productos, los cuales son el faenamiento y el troceado; etapas que son principalmente de acondicionamiento y preparación de la materia antes de su procesamiento, en cambio en la elaboración del biogás y el compost estas fases son remplazadas por un pretratamiento ya que aquí se busca eliminar algunos aspectos negativos como la presencia de patógenos potenciales de la materia prima que en este caso es el estiércol.



Figura 4 | Etapas tecnológicas en la Conversión de Subproductos Porcinos

En la **Figura 5** se muestra la frecuencia relativa (%) de distintas operaciones unitarias empleadas en la transformación de subproductos porcinos obtenida a partir del faenamiento del cerdo. El troceado es el proceso que más se repite en las tecnologías con un 50% de aparición, esto debido a que se busca reducir el tamaño de la materia prima en cuestión para poder maniobrarla de mejor manera y facilitar la elaboración de productos a partir de la misma. Según Jayathilakan, Sultana, Radhakrishna, Bawa (2012) destaca en su revisión que el troceado es un paso inicial muy común en el procesamiento de subproductos cárnicos porcinos, ya que permite preparar materiales como piel, grasa y vísceras para tratamiento subsiguientes en la elaboración de productos a partir del cerdo.

El enfriado se repite un 33% ya que al elaborar productos a partir de materia prima fresca obtenida a partir del cerdo como su carne, grasa y demás el control de temperatura es crucial para evitar el crecimiento de bacterias y evitar la descomposición natural de la materia prima. Sin embargo, revisiones más recientes como la de Borges, Odila, Voss, Martins, Almeida, Pintado (2026), sobre la valorización de subproductos porcinos, incluye al enfriado como operación clave en flujos de proceso para obtener hidrolizados proteicos y otros derivados, reforzando la frecuencia con la que se observa esta operación en el procesamiento de la materia prima.

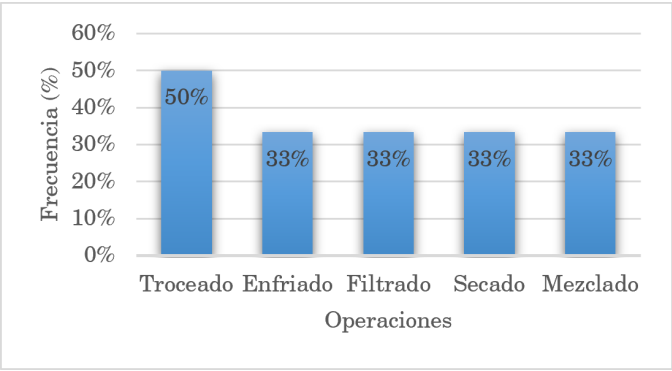

Figura 5 | Frecuencia de aplicación de operaciones unitarias en procesos de transformación de subproductos porcinos

El filtrado aparece un 33% en las tecnologías ya que con su aplicación se busca eliminar impurezas físicas y microorganismos tanto de la materia prima como del producto final. Además, la filtración es una operación recurrente en procesos de extracción y purificación, como en la producción de hidrolizados proteicos o grasas refinadas. En este contexto Borges, Odila, Voss, Martins, Almeida, Pintado (2026), describe la filtración como paso esencial en la combinación de hidrólisis enzimática y separación para obtener fracciones proteicas limpias de subproductos porcinos (piel, huesos y grasa), lo que coincide con su rol en la mejora de la pureza y seguridad del producto.

El mezclado y secado aparece un 33% en las diferentes tecnologías. El mezclado es muy común en las tecnologías de procesamiento de materia prima del cerdo debido busca combinar la materia prima con los diferentes aditivos e ingredientes dependiendo el producto que se busque obtener. Por otro lado, el secado busca eliminar los porcentajes altos de agua o humedad en la materia prima y el producto con el objetivo de inhibir la actividad bacteriana en la materia prima y el producto final. Ambas operaciones son complementarias pero críticas, como lo enfatiza Jayathilakan, Sultana, Radhakrishna, Bawa (2012) en su estudio, donde sustenta que el mezclado en formulaciones de subproductos con enzimas para la hidrólisis o aditivos y el secado como método común para estabilizar materiales con gran contenido de agua, como en la producción de harinas proteicas o colágeno ayudan a estabilizar los nutrientes y reducir riesgos microbiológicos en la elaboración de productos derivados del cerdo.

Estos resultados reflejan patrones documentados donde ciertas operaciones se repiten con alta frecuencia debido al rol importante en la preparación, conservación y mejora de la calidad de la materia prima obtenida del faenamiento del cerdo.

La **Figura 6** representa un esquema de aprovechamiento integral de la materia prima porcina, en el que se describen las diferentes fracciones obtenidas del cerdo (carne, panceta, grasa subcutánea, piel, sangre, huesos, patas y cabeza, vísceras y estiércol), las tecnologías asociadas a su transformación (TAGI-C-01 a TAGI-C-12) y los productos finales generados. Estos productos se agrupan en categorías de productos alimenticios, farmacéuticos, alimento animal, abono y energía

El esquema evidencia un enfoque de valorización integral que maximiza el uso de la materia prima porcina mediante rutas tecnológicas diferenciadas. Se observa que las fracciones con mayor valor comercial directo, como la carne y la panceta, se destinan principalmente a productos alimenticios (jamón, salchicha y tocino), mientras que subproductos como la piel, sangre y huesos se transforman en productos de alto valor agregado, tales como chicharrón, morcilla, gelatina y colágeno. Asimismo, las vísceras y el estiércol se integran en cadenas de aprovechamiento orientadas a la producción de alimento animal, biogás y compost, contribu-

yendo a la economía circular y a la reducción de residuos. En conjunto, la **Figura 6** permite visualizar la interconexión entre tecnologías y productos, destacando el potencial del sector porcino para generar valor económico, ambiental y productivo a partir de un manejo integral de sus subproductos.

Para la grasa subcutánea, la ruta (TAGI-C-05) produce manteca como producto principal, lo cual es consistente con lo expuesto por (Toldrá, Mora, Reig 2016), que incluyen la transformación, refinado y filtración para obtener manteca comestible, aceites o grasas industriales. Estos autores también agregan usos para la elaboración de productos no comestibles como jabón y biodiesel, dando un poco más de versatilidad al uso industrial de la grasa de cerdo.

La sangre se destina a la elaboración de morcilla en la ruta (TAGI-C-07), lo cual se asemeja a las descripciones por Toldrá, Mora, Reig (2016), donde incluyen coagulación, cocción y uso en embutidos de sangre, añadiendo también la separación de plasma para aplicaciones funcionales o nutracéuticas.

Los estudios de Jayathilakan, Sultana, Radhakrishna, Bawa (2012; Toldrá, Mora, Reig 2016), detallan la hidrólisis enzimática para obtener gelatina con fines alimentarios o farmacéuticos. Igualmente, Borges, Odila, Voss, Martins, Almeida, Pintado (2026) remarca la hidroxiapatita obtenida de los huesos como biomaterial para la elaboración de péptidos bioactivos o materiales biomédicos.

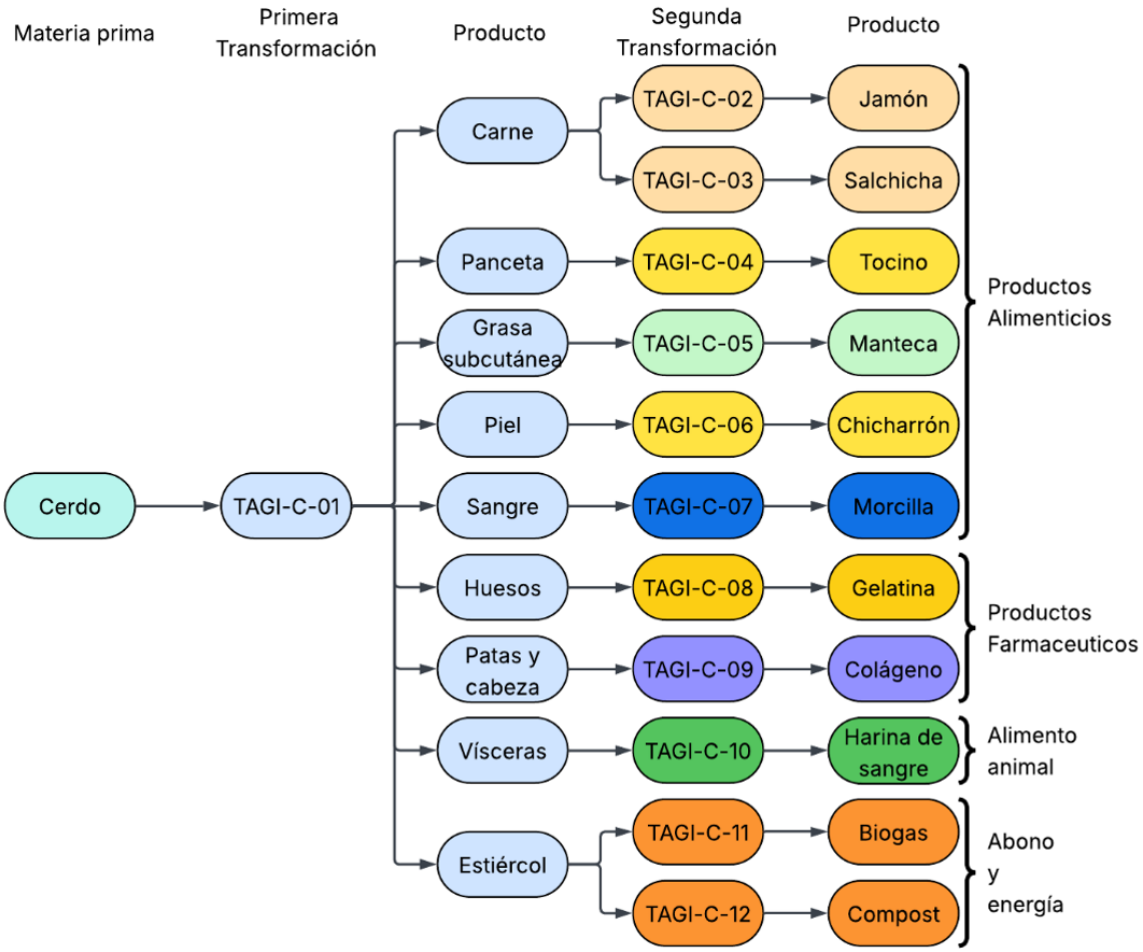

Figura 6 | Esquema de rutas tecnológicas para el aprovechamiento integral de subproductos porcinos

El estiércol guía dos rutas tecnológicas: la producción de energía y la fertilidad del suelo, siguiendo un enfoque similar a la economía circular, que incluyen digestión anaeróbica para biogás y compostaje para fertilizantes, junto con la combinación de otros residuos para mejorar el rendimiento energético (Mutua, Lindahl, Randolph 2020).

4. Conclusiones

La matriz propuesta demuestra que se pueden aprovechar partes del cerdo para convertir subproductos que normalmente son poco valorados en ingredientes funcionales, alimentos, bioenergía, insumos para la alimentación animal y fertilizantes orgánicos. Esta diversificación productiva evidencia la gran capacidad del sector porcino para incorporarse a modelos de economía circular, disminuyendo los desechos y reforzando la sostenibilidad tanto en términos ambientales como productivos.

El análisis reveló que el troceado (73 %), el enfriado (55 %) y la filtración (45 %) son las tres operaciones que se presentan en el mayor porcentaje de todos los procesos analizados en

esta matriz para la transformación de subproductos porcinos. Esta alta frecuencia demuestra que los procesos de acondicionamiento, control térmico y separación son el eje central del procesamiento del cerdo. Además, al concentrarse en un grupo reducido de operaciones tan recurrentes, se evidencia la posibilidad de obtener varios productos finales a partir de diferentes combinaciones o secuencias de estas mismas operaciones, lo que otorga un gran potencial de diversificación a los sistemas de valorización porcina.

Al sistematizar las rutas tecnológicas y los parámetros operativos, se identificaron procesos altamente consolidados, técnicamente viables y con un elevado nivel de madurez tecnológica. Existe una clara correlación entre la disponibilidad y calidad de la información sobre las condiciones de operación y el grado de madurez alcanzado por estas tecnologías. Cuanto mayor es el detalle y la accesibilidad de datos sobre las condiciones de operación, mayor es la capacidad demostrada para escalar, optimizar y operar de forma confiable en entornos industriales. Este dato es clave debido a que los procesos con un nivel de madurez mayor permiten obtener productos listos para el consumo inmediato mediante solo dos niveles de transformación ejecutados bajo sistemas eficaces, seguros y escalables.

Contribuciones de los autores:

Helen Stefanya Jaramillo Piezo: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Milver Patricio Kuja Wachapa: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Amaury Pérez Martinez: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ADESIYUN, A. A. and BALBIRSINGH, V., 1996. Microbiological analysis of 'black pudding', a Trinidadian delicacy and health risk to consumers. *International Journal of Food Microbiology*. Online. 1 August 1996. Vol. 31, no. 1–3, p. 283–299. DOI: 10.1016/0168-1605(96)00944-0. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0168160596009440?via%3Dihub [Accessed 8 February 2026].

BELLEGGIA, Luca, FERROCINO, Ilario, REALE, Anna, FRANCIOSA, Irene, MILANOVIĆ, Vesna, GAROFALO, Cristiana, CARDINALI, Federica, BOSCAINO, Floriana, CESARO, Cristiana, RAMPANTI, Giorgia, COCOLIN, Luca, AQUILANTI, Lucia and OSIMANI, Andrea, 2024. Spotlight on autochthonous microbiota, morpho-textural characteristics, and volatilome of a traditional Polish cold-smoked raw sausage. *Food Research International*. Online. 1 January 2024. Vol. 175. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113754. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996923013029? [Accessed 9 February 2026].

BORGES, Sandra, ODILA, Joana, VOSS, Glenise, MARTINS, Rui, ALMEIDA, André and PINTADO, Manuela, 2026. Porcine Blood: An Eco-Efficient Source of Multifunctional Protein Hydrolysates. *Foods*. Online. 9 January 2026. Vol. 15, no. 2, p. 254. DOI: 10.3390/foods15020254. Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/15/2/254 [Accessed 9 February 2026].

BORGES, Sandra, PICCIRILLO, Clara, SCALERA, Francesca, MARTINS, Rui, ROSA, Ana, COUTO, José António, ALMEIDA, André and PINTADO, Manuela, 2022. Valorization of porcine by-products: a combined process for protein hydrolysates and hydroxyapatite production. *Bioresources and Bioprocessing*. Online. 21 March 2022. Vol. 9, no. 1, p. 30. DOI: 10.1186/s40643-022-00522-6. Available from: https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-022-00522-6

BOU, Ricard, PINOTTI, Luciano, ZEUGOLIS, Dimitrios, WATIGNY, Alexandre and ÁLVAREZ, Carlos, 2025. Advancing the valorisation of meat co-products in food, pet food, and biomedicine applications. *Waste Management*. Online. 1 August 2025. Vol. 204, p. 114948. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.114948. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X25003599 [Accessed 8 February 2026].

CASABURI, Annalisa, PIOMBINO, Paola, NYCHAS, George John, VILLANI, Francesco and ERCOLINI, Danilo, 2015. Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage. *Food Microbiology*. Online. 1 February 2015. Vol. 45, no. PA, p. 83–102. DOI: 10.1016/j.fm.2014.02.002. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002014000276? [Accessed 9 February 2026].

CENCE, Karine, DEQUI, Marilia Jordana, MEIRELLES DA SILVA, Leonardo, COLET, Rosicler, JUNGES, Alexander, STEFFENS, Clarice, ZENI, Jamile and VALDUGA, Eunice, 2023. Development of dry-cured pork sausage with sodium nitrite and nitrate microencapsulates: Physicochemical properties, mathematical modeling, sensory, and microbiological analysis. *Food Chemistry Advances*. Online. 1 October 2023. Vol. 2, no. 1, p. 100–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.05.008. Available from: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.008 [Accessed 8 February 2026].

DOMÍNGUEZ, Rubén, PATEIRO, Mirian, MUNEKATA, Paulo E.S., ZHANG, Wangang, GARCIA, Paula, CARPENA, Maria, PRIETO, Miguel A., BOHRER, Benjamin and LORENZO, José M., 2021. Protein Oxidation in Muscle Foods: A Comprehensive Review. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*. Online. 1 January 2021. Vol. 11, no. 1. DOI: 10.3390/antiox11010060. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35052564/ [Accessed 9 February 2026].

FAO, LPP, LIFE NETWORK and UICN-IMPS, 2011. *Añadiendo valor a la diversidad ganadera*. Online. Roma: Estudios FAO: Producción y Sanidad Animal. Available from: https://www.fao.org/4/i1283s/i1283s00.htm [Accessed 8 February 2026].

FAO, 2023. *The State of Food and Agriculture 2023*. Online. FAO. ISBN 978-92-5-138167-0. Available from: http://www.fao.org/documents/card/en/c/cc7724en [Accessed 24 February 2026].

GOMEZ, M. C., GIMENEZ, B., LOPEZ, M. E. and MONTERO, M. P., 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*. Online. 1 December 2011. Vol. 25, no. 8, p. 1813–1827. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.007. Available from: https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01509.x [Accessed 9 February 2026].

GONZÁLEZ, María, SUÁREZ, Héctor and MARTÍNEZ, Olga, 2009. Análisis estructural de la carne de jamón durante el proceso de cocción y temperatura de almacenamiento. *Revista MVZ Córdoba*. Online. 1 September 2009. Vol. 14, no. 3, p. 1803–1811. DOI: 10.21897/rmvz.340. Available from: https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/340 [Accessed 9 February 2026].

GUO, Yujie, LI, Xia, JIA, Wei, HUANG, Feng, LIU, Yunhe and ZHANG, Chunhui, 2021. Characterization of an intracellular aspartic protease (PsAPA) from Penicillium sp. XT7 and its application in collagen extraction. *Food Chemistry*. Online. 30 May 2021. Vol. 345, p. 128834. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128834. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620326960?via%3Dihub [Accessed 9 February 2026].

HAMILTON, C. R, 2022. Cuestiones reales y percibidas que implican Proteínas animales. *FAO*. Online. 2022. Available from: https://www.fao.org/4/y5019e/y5019e0g.htm [Accessed 9 February 2026].

JARQUÍN, Manuel Antonio, 2012. *Análisis de la Cadena de Valor de la Carne de Cerdos y sus Derivados*. Online. Managua: Project Report. Ins-

tituto de Investigación y Desarrollo NITLAPAN – UCA. Available from: https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1096031 [Accessed 8 February 2026].

JAYATHILAKAN, K., SULTANA, Khudsia, RADHAKRISHNA, K. and BAWA, A. S., 2012. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*. Online. 20 June 2012. Vol. 49, no. 3, p. 278–293. DOI: 10.1007/s13197-011-0290-7. Available from: http://link.springer.com/10.1007/s13197-011-0290-7 [Accessed 22 February 2026].

JITHONGTONG, Lalita, SOMBUTSUWAN, Piraporn, CHUMSANTEA, Salisa, WHANGSOMNUEK, Nattawut, NAKORNSADET, Akkaradech, LILITCHAN, Supathra, ALI, M. Abbas and ARYUSUK, Kornkanok, 2025. Novel Co-rendering Process for Enhancing Lard Quality-focusing on Oxidative Stability and Fatty Acid Composition of the Co-rendered Oils. *Journal of Oleo Science*. 2025. Vol. 74, no. 8, p. 667–680. DOI: 10.5650/jos.ess25034.

KIM, Sung Woo, GORMLEY, Alexa, JANG, Ki Beom and DUARTE, Marcos Elias, 2024. — Invited Review — Current status of global pig production: an overview and research trends. *Animal Bioscience*. Online. 1 April 2024. Vol. 37, no. 4, p. 719–729. DOI: 10.5713/ab.23.0367. Available from: http://animbiosci.org/journal/view.php?doi=10.5713/ab.23.0367 [Accessed 24 February 2026].

LOŽNJAK ŠVARC, Petra, RAHIMI, Marzia, TØNNESEN, Jesper, CORELL, Dennis Dan, PETERSEN, Paul Michael, HYLDIG, Grethe and JAKOBSEN, Jette, 2022. Bio-Fortified Pork Cracklings with UVB LED Tailored Content of Vitamin D3. *Foods*. Online. 1 March 2022. Vol. 11, no. 5, p. 726. DOI: 10.3390/foods11050726. Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/11/5/726 [Accessed 9 February 2026].

LU, Xiao Ming and LU, Peng Zhen, 2019. Synergistic effects of key parameters on the fate of antibiotic resistance genes during swine manure composting. *Environmental Pollution*. Online. 1 September 2019. Vol. 252, p. 1277–1287. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.06.073. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119314964?via%3Dihub [Accessed 9 February 2026].

MARCHETTI, Rosa, VASMARA, Ciro and FIUME, Francesca, 2019. Pig slurry improves the anaerobic digestion of waste cooking oil. *Applied microbiology and biotechnology*. Online. 1 October 2019. Vol. 103, no. 19, p. 8267–8279. DOI: 10.1007/s00253-019-10087-8. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31463547/ [Accessed 9 February 2026].

MARCUCCI, Sílvio M. P., ROSA, Robison A., LENZI, Giane G., BALTHAZAR, Jose M., FUZIKI, Maria E. K. and TUSSET, Angelo M., 2025. Biogas Overview: Global and Brazilian Perspectives with Emphasis on Paraná State. *Sustainability*. Online. 3 January 2025. Vol. 17, no. 1, p. 321. DOI: 10.3390/su17010321. Available from: https://www.mdpi.com/2071-1050/17/1/321 [Accessed 22 February 2026].

MATINONG, Andrea Marie E., CHISTI, Yusuf, PICKERING, Kim L. and HAVERKAMP, Richard G., 2022. *Collagen Extraction from Animal Skin*. 1 June 2022. MDPI.

MISHRA, Ashok K., PEDE, Valerien O., AROUNA, Aminou, LABARTA, Ricardo, ANDRADE, Robert, VEETTIL, Prakash C., BHANDARI, Humnath, LABORTE, Alice G., BALIE, Jean and BOUMAN, Bas, 2022. Helping feed the world with rice innovations: CGIAR research adoption and socioeconomic impact on farmers. *Global Food Security*. Online. June 2022. Vol. 33, p. 100628. DOI: 10.1016/j.gfs.2022.100628. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211912422000190

MOSQUERA, Ana Marcela, DELGADO, Juan Martín, RAMÓN, Aura Alexandra, VÁSQUEZ, Juan Esteban and PEÑUELA, Mariana, 2024. Evaluation of Biogas Production from Swine Manure Using a UASB Reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) with Long-Term Operation. *Energies*. Online. 3 June 2024. Vol. 17, no. 11, p. 2723. DOI: 10.3390/en17112723. Available from: https://www.mdpi.com/1996-1073/17/11/2723 [Accessed 22 February 2026].

MUTUA, Florence, LINDAHL, Johanna and RANDOLPH, Delia, 2020. Possibilities of establishing a smallholder pig identification and traceability system in Kenya. *Tropical Animal Health and Production*. Online. 16 March 2020. Vol. 52, no. 2, p. 859–870. DOI: 10.1007/s11250-019-02077-9. Available from: http://link.springer.com/10.1007/s11250-019-02077-9 [Accessed 22 February 2026].

NAVARRO, D. M.D.L., MATHAI, J. K., JAWORSKI, N. W. and STEIN, H. H., 2018. Amino acid digestibility in six sources of meat and bone meal, blood meal, and soybean meal fed to growing pigs. *https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0217*. Online. 2018. Vol. 98, no. 4, p. 860–867. DOI: 10.1139/cjas-2017-0217. Available from: https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0217 [Accessed 9 February 2026].

PAGE, Matthew J., MCKENZIE, Joanne E., BOSSUYT, Patrick M., BOUTRON, Isabelle, HOFFMANN, Tammy C., MULROW, Cynthia D., SHAMSEER, Larissa, TETZLAFF, Jennifer M., AKL, Elie A., BRENNAN, Sue E., CHOU, Roger, GLANVILLE, Julie, GRIMSHAW, Jeremy M., HRÓBJARTSSON, Asbjørn, LALU, Manoj M., LI, Tianjing, LODER, Elizabeth W., MAYO-WILSON, Evan, MCDONALD, Steve, MCGUINNESS, Luke A., STEWART, Lesley A., THOMAS, James, TRICCO, Andrea C., WELCH, Vivian A., WHITING, Penny, MOHER, David, YEPES-NUÑEZ, Juan José, URRÚTIA, Gerard, ROMERO-GARCÍA, Marta and ALONSO-FERNÁNDEZ, Sergio, 2021. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*. Online. 1 September 2021. Vol. 74, no. 9, p. 790–799. DOI: 10.1016/j.recesp.2021.06.016. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300893221002748 [Accessed 8 February 2026].

PAPATSIROS, Vasileios G., TSEKOURAS, Nikolaos, PAPAKONSTANTINOU, Georgios I., KAMVYSI, Konstantina, ELIOPOULOS, Christos, FOTOS, Lampros, ARAPOGLOU, Dimitrios, MELETIS, Eleftherios, MICHAILIDIS, Georgios and GOUGOULIS, Dimitrios, 2025. The Use of Food Industry By-Products in Pig Diets as a Challenge Option to Reduce the Environmental Footprint. *Agriculture*. Online. 19 November 2025. Vol. 15, no. 22, p. 2390. DOI: 10.3390/agriculture15222390. Available from: https://www.mdpi.com/2077-0472/15/22/2390

RASHID, Muhammad Tayyab, LIU, Kunlun, HAN, Simeng and JATOI, Mushtaq Ahmed, 2022. The Effects of Thermal Treatment on Lipid Oxidation, Protein Changes, and Storage Stabilization of Rice Bran. *Foods*. 10 December 2022. Vol. 11, no. 24, p. 4001. DOI: 10.3390/foods11244001.

RICCI, Annalisa, MARTELLI, Francesco, RAZZANO, Roberta, CASSI, Davide, LAZZI, Camilla, NEVIANI, Erasmo and BERNINI, Valentina, 2020. Service temperature preservation approach for food safety: Microbiological evaluation of ready meals. *Food Control*. Online. 1 September 2020. Vol. 115, p. 107–297. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107297. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713520302139? [Accessed 9 February 2026].

RODRÍGUEZ, I., LEIVA, A., GONZÁLEZ, D. and MESA, A., 2021. Evaluación de parámetros productivos en porcinos faenados con diferentes pesos. *Revista Veterinaria*. Online. 5 November 2021. Vol. 32, no. 1, p. 84–88. DOI: 10.30972/vet.3215641. Available from: https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/5641 [Accessed 8 February 2026].

ROLDAN, Mar, ANTEQUERA, Teresa, ARMENTEROS, Monica and RUIZ, Jorge, 2014. Effect of different temperature–time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins. *Food Chemistry*. Online. April 2014. Vol. 149, p. 129–136. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.10.079. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814613015240 [Accessed 9 February 2026].

ROPPA, Luciano, DUARTE, Marcos Elias and KIM, Sung Woo, 2024. — Invited Review — Pig production in Latin America. *Animal Bioscience*. Online. 1 April 2024. Vol. 37, no. 4, p. 786–793. DOI: 10.5713/ab.23.0453. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11016694/ [Accessed 24 February 2026].

RUAN, Roger, CHEN, Paul, ZHOU, Nan, ZHANG, Renchuan, CHENG, Yanling, LIU, Juer, WANG, Lu, DAI, Leilei, MATAYA, Dmitri, LYU, Yuancai, CHIAOKHIAO, Abigail, LIU, Frank and COBB, Kirk, 2021. *Novel intervention strategies and technologies for food safety assurance in pork supply chain*. Online. [Accessed 24 February 2026].

SALIM, Nisa V., MADHAN, Balaraman, GLATTAUER, Veronica and RAMSHAW, John A.M., 2024. Comprehensive review on collagen extraction from food by-products and waste as a value-added material. *International Journal of Biological Macromolecules*. Online. 1 October 2024. Vol. 278, p. 134374. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.134374. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813024051791

SOMPIE, M., SURTIJONO, S.E., PONTOH, J.H.W. and LONTAAN, N.N., 2015. The Effects of Acetic Acid Concentration and Extraction Temperature on Physical and Chemical Properties of Pigskin Gelatin. *Procedia Food Science*. 2015. Vol. 3, p. 383–388. DOI: 10.1016/j.profoo.2015.01.042.

TOLDRÁ, Fidel, MORA, Leticia and REIG, Milagro, 2016. New insights into meat by-product utilization. *Meat Science*. Online. October 2016. Vol. 120, p. 54–59. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.04.021. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174016301140

TOLDRÁ, Fidel, REIG, Milagro and MORA, Leticia, 2021. Management of meat by- and co-products for an improved meat processing sustainability. *Meat Science*. Online. November 2021. Vol. 181, p. 108608. DOI:

10.1016/j.meatsci.2021.108608. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174021001844

VINOCUNGA-PILLAJO, Reni Danilo, ROMERO-VISTÍN, Aida Salomé, JIMÉNEZ-TAMAYO, Fabiola Maribel, SÁNCHEZ-VALLEJO, Carlos Alfonso, GUARDADO-YORDI, Estela and PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, 2025. Technological route for the agro-industrial development of the province of Pastaza based on the valorization of agricultural, livestock, and forest resources. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Online. 2025. DOI: 10.17533/udea.redin.20250879. Available from: https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/357286

VULIĆ, Ana, CVETNIĆ, Željko, KOS, Ivica, VNUČEC, Ivan, VAHČIĆ, Nada, LEŠIĆ, Tina, SIMONOVIĆ, Dimitrije, KUDUMIJA, Nina and PLEADIN, Jelka, 2024. Comparison of the Nutritional Composition of Meat Products Derived from Croatian Indigenous Pig Breeds. *Foods* . Online. 22 December 2024. Vol. 13, no. 24. DOI: 10.3390/foods13244175. Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/13/24/4175 [Accessed 8 February 2026].

YANG, Zi Xuan, SHA, Xiao Mei, WANG, Hui, FANG, Ting, SHU, Sheng and TU, Zong Cai, 2025. Effect of acid pretreatments with various acid types on gelling properties and identification characteristics of pigskin gelatin. *Food Chemistry: X*. Online. 1 February 2025. Vol. 26. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.102211. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39995407/ [Accessed 9 February 2026].

ZALEWSKA, Magdalena, BŁAŻEJEWSKA, Aleksandra, CZAPKO, Agnieszka and POPOWSKA, Magdalena, 2023. Pig manure treatment strategies for mitigating the spread of antibiotic resistance. *Scientific reports*. Online. 1 December 2023. Vol. 13, no. 1. DOI: 10.1038/s41598-023-39204-4. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37491438/ [Accessed 9 February 2026].

ZHANG, Lei, MAO, Yingrong, CHEN, Zhonghao, HU, Xiaoshan, WANG, Chuan, LU, Chang and WANG, Lei, 2024. A systematic review of life-cycle GHG emissions from intensive pig farming: Accounting and mitigation. *Science of The Total Environment*. Online. 10 January 2024. Vol. 907, p. 168112. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168112. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969723067396 [Accessed 8 February 2026].