



**Somos calidad,
somos USC**

Impacto de la contaminación cruzada en la calidad microbiológica e inocuidad de productos cárnicos: Una revisión sistemática.

Autor

Ana Cristina González Morales

Título por el que opta

Microbióloga

Director

Alexis Gafaro Montejo

Grupo de Investigación

**GIMIA Grupo de investigación en
Microbiología, Industria y Ambiente**

Línea de Investigación

Microbiología Industrial y Bioprocesos

Facultad de Ciencias Básicas

Microbiología

Universidad Santiago de Cali

Santiago de Cali – Colombia

2025

IMPACTOS

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Científico	Revisión sistemática que compila y analiza la evidencia científica reciente sobre contaminación cruzada en productos cárnicos, identificando las fuentes, los patógenos de mayor prevalencia como <i>Salmonella spp.</i> , <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Campylobacter spp.</i> y sus consecuencias para la inocuidad y calidad microbiológica de la carne. Asimismo, examina las estrategias de control propuestas en la literatura y reconoce las tendencias actuales de investigación en este campo.	Investigadores en microbiología de alimentos, docentes de áreas científicas, grupos de investigación en inocuidad alimentaria, estudiantes de microbiología y ciencias afines, y entidades interesadas en la inocuidad y seguridad alimentaria.

IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN CRUZADA EN LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA E INOCUIDAD DE PRODUCTOS CÁRNICOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Ana Cristina González Morales¹ (ana.gonzalez32@usc.edu.co)

¹ Programa de Microbiología. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

La contaminación cruzada en productos cárnicos representa una de las principales causas de pérdida de inocuidad alimentaria a nivel mundial. Este fenómeno se origina en distintos puntos de la cadena productiva desde la manipulación y las superficies de contacto, hasta el transporte y almacenamiento, facilitando la diseminación de patógenos y bacterias deteriorantes. El presente estudio tuvo como objetivo identificar las principales fuentes y mecanismos de contaminación cruzada en productos cárnicos, evaluar su impacto en la inocuidad y calidad, y analizar las estrategias de control aplicadas en la industria. Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos científicas, seleccionando 50 artículos publicados en los últimos diez años que cumplieron los criterios de inclusión. Los resultados evidenciaron la presencia recurrente de *Salmonella entérica*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Campylobacter spp.* como principales microorganismos contaminantes, con alta prevalencia en superficies, equipos y por manipulación deficiente. Asimismo, se identificó su persistencia en ambientes de procesamiento, lo que compromete la calidad microbiológica del producto. Por último, las estrategias de control basadas en BPM, HACCP y tecnologías emergentes como el uso de inteligencia artificial y desinfección combinada mostraron eficacia variable según las condiciones de implementación. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de fortalecer los programas de vigilancia y las prácticas de control integral en la industria cárnica para garantizar productos seguros y de calidad.

Palabras clave: contaminación cruzada, productos cárnicos, inocuidad alimentaria, patógenos.

IMPACT OF CROSS-CONTAMINATION ON THE MICROBIOLOGICAL QUALITY AND SAFETY OF MEAT PRODUCTS: A SYSTEMATIC REVIEW.

ABSTRACT

Cross-contamination in meat products is one of the leading causes of food safety losses worldwide. This phenomenon originates at different points in the production chain, from handling and contact surfaces to transportation and storage, facilitating the spread of pathogens and spoilage bacteria. This study aimed to identify the main sources and mechanisms of cross-contamination in meat products, evaluate their impact on food safety and quality, and analyze the control strategies applied in the industry. A bibliographic review of scientific databases was conducted, selecting 50 articles published in the last ten years that met the inclusion criteria. The results showed the recurring presence of *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, and *Campylobacter spp.* as the main contaminating microorganisms, with a high prevalence on surfaces and equipment, and due to poor handling. Their persistence in processing environments was also identified, compromising the microbiological quality of the product. Finally, control strategies based on GMP, HACCP, and emerging technologies such as the use of artificial intelligence and combined disinfection showed varying effectiveness depending on the implementation conditions. These findings reinforce the need to strengthen surveillance programs and comprehensive control practices in the meat industry to ensure safe, high-quality products.

Keywords: Cross-contamination, meat products, food safety, pathogens.

HIGHLIGHTS

La contaminación cruzada es uno de los principales problemas que comprometen la inocuidad y calidad microbiológica de los productos cárnicos a lo largo de la cadena de producción y comercialización.

Los microorganismos patógenos de mayor prevalencia vinculados a esta problemática incluyen *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* y *Campylobacter spp.*

Las superficies de contacto, utensilios, manipuladores y el agua utilizada en los procesos representan las fuentes más frecuentes de contaminación cruzada.

La implementación incompleta o inadecuada de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y del sistema HACCP dificulta el control eficaz de este riesgo en plantas procesadoras y puntos de venta.

La revisión sistemática evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención y control para reducir brotes de enfermedades transmitidas por alimentos y prolongar la vida útil de los productos cárnicos.

1. INTRODUCCIÓN

La industria cárnica representa un sector esencial dentro de la economía alimentaria mundial, no solo por su importancia en el suministro proteico de la población, sino también por la generación de empleo y el impulso al comercio internacional (FAO, 2020). Sin embargo, debido a las características fisicoquímicas de la carne como altos niveles de humedad, actividad de agua y abundancia de nutrientes, este sector constituye uno de los más vulnerables a la contaminación microbiológica, particularmente a través del fenómeno de la contaminación cruzada (Carrasco et al., 2012; Antic et al., 2023). Este proceso se define como la transferencia de microorganismos patógenos o alterantes entre alimentos, superficies, utensilios, equipos, agua o manipuladores durante las etapas de procesamiento y comercialización, y se reconoce como una de las principales causas de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) a nivel global. (Zwirzitz et al. 2021)

Los productos cárnicos y sus derivados constituyen un medio óptimo para el desarrollo de bacterias de importancia en salud pública, tales como *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* y *Campylobacter spp.*, considerados entre los patógenos alimentarios más relevantes por su alta prevalencia, morbilidad y mortalidad asociadas (EFSA & ECDC, 2022; CDC, 2023). La evidencia reportada por la Organización Mundial de la Salud (s. f.) señala que, cada año, aproximadamente 600 millones de personas en el mundo enferman por ingerir alimentos contaminados, generando cerca de 420.000 muertes, de las cuales una parte importante se relaciona con productos cárnicos contaminados. La presencia de estos patógenos, inducida por la contaminación cruzada, suele estar asociada a prácticas deficientes de higiene, manipulación inadecuada, deficiencias en la desinfección de equipos o al almacenamiento inadecuado de productos crudos y cocidos (Baer et al., 2013; Khan et al., 2017).

En Latinoamérica, la problemática adquiere mayor relevancia debido a la combinación de factores estructurales y sanitarios. Diversos estudios han documentado que las deficiencias en infraestructura de sacrificio, la falta de aplicación rigurosa de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y el bajo nivel de control en expendios de carne constituyen factores clave en la persistencia de riesgos microbiológicos (FAO, 2019; Antic et al., 2023). En Colombia, el panorama no es diferente: informes del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y del Instituto Nacional de Salud (INS) han evidenciado que las carnes y derivados cárnicos son vehículos frecuentes de brotes de salmonelosis y listeriosis, reflejando la necesidad de fortalecer los programas

de inocuidad. La contaminación cruzada no solo compromete la inocuidad alimentaria, sino que también repercute directamente en la calidad microbiológica de los productos cárnicos, reduciendo su vida útil, generando pérdidas económicas y afectando la capacidad del sector de la industria cárnica (Zwirzitz et al. 2021). En términos industriales, representa un desafío tecnológico y económico, pues limita la posibilidad de alcanzar estándares de exportación exigidos por mercados internacionales. Desde el punto de vista sanitario, constituye una amenaza latente para la salud pública al facilitar la transmisión de patógenos emergentes y multirresistentes (EFSA & ECDC, 2022; CDC, 2023).

La literatura científica ha identificado diferentes puntos críticos en la cadena cárnica donde la contaminación cruzada ocurre con mayor frecuencia, destacando las superficies de contacto, utensilios, manipuladores, agua de proceso y el ambiente de las plantas de producción (Carrasco et al., 2012). Además, el uso inadecuado de la conservación de la cadena de frío, como la refrigeración o congelación, contribuye a mantener la viabilidad de los microorganismos, incrementando el riesgo de diseminación durante la manipulación posterior (Khan et al., 2017). Para mitigar estos riesgos, el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC o HACCP, por sus siglas en inglés) se ha establecido como un procedimiento sistemático y preventivo de aseguramiento de la inocuidad, ampliamente aceptado a nivel internacional. Este sistema se enfoca en la identificación y control de peligros químicos, biológicos y físicos en la producción de alimentos, representando una herramienta esencial en la gestión sanitaria de la industria cárnica (INVIMA, s. f.).

En este contexto, resulta pertinente realizar una revisión sistemática que compile, organice y analice la evidencia científica reciente (2015–2025) sobre la contaminación cruzada en productos cárnicos. Esta permitirá comprender los mecanismos involucrados, identificar los principales agentes microbianos, reconocer tendencias en la investigación, y evaluar las estrategias higiénicas y tecnológicas de control documentadas. Asimismo, el análisis contribuirá a establecer vacíos de conocimiento y a proponer recomendaciones basadas en evidencia que fortalezcan tanto las prácticas de inocuidad como las políticas regulatorias a nivel nacional e internacional. De este modo, el presente trabajo busca responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo impacta la contaminación cruzada en la calidad microbiológica y la inocuidad de los productos cárnicos a lo largo de la cadena de producción y comercialización?

2. METODOLOGÍA

La presente monografía, orientada a analizar el impacto de la contaminación cruzada en la inocuidad y calidad microbiológica de productos cárnicos durante la cadena de producción y comercialización, se desarrolla bajo la línea de investigación en Ciencias Básicas, Microbiología de los Alimentos y Salud Pública, perteneciente a la Universidad Santiago de Cali. El diseño metodológico corresponde a una Revisión Sistemática (RS) de literatura científica. Este método permite recopilar, seleccionar, evaluar críticamente y sintetizar estudios relevantes mediante un proceso transparente, reproducible y riguroso (Sánchez Serrano, Pedraza Navarro, & Donoso González, 2022). Así, se logra consolidar el conocimiento existente sobre el tema y proponer recomendaciones basadas en evidencia.

La búsqueda bibliográfica se estructura con base en la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), la cual proporciona directrices claras para garantizar la integridad y transparencia del proceso de revisión (Page et al., 2021). Esta estrategia permite minimizar sesgos, establecer criterios de inclusión y exclusión, asegurando la validez de los hallazgos.

Tipo de estudio.

Se emplea un enfoque cualitativo de tipo analítico-descriptivo, dado que busca identificar, organizar y analizar la evidencia científica publicada en torno a las fuentes, mecanismos y consecuencias de la contaminación cruzada

en productos cárnicos. El estudio se centra en reconocer patrones comunes, riesgos microbiológicos y estrategias de control implementadas a lo largo de la cadena cárnica.

2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión.

- Artículos de investigación y revisión publicados entre 2015 y 2025 que aborden temas como inocuidad y seguridad alimentaria, control de patógenos en plantas procesadoras y la implementación de herramientas como las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y el sistema HACCP.
- Artículos en idioma inglés y español.
- Artículos indexados dentro de revistas con niveles de impacto Q1, Q2, y Q3.
- Boletines epidemiológicos, informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y libros.

Criterios de exclusión.

Por otro lado, se excluirán artículos que no informen sobre inocuidad y seguridad alimentaria, control de patógenos en plantas procesadoras o que no estén directamente vinculados con la temática de contaminación cruzada en productos cárnicos, así como artículos de opinión, tesis de pregrado, notas o cartas al editor, artículos que no involucren estudios en humanos (p. ej., investigación *in vitro* o animal), de acceso restringido, en idiomas distintos al español o al inglés, con información limitada o duplicados.

Estrategia de búsqueda.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en seis bases de datos: PubMed, ScienceDirect, Nature, Taylor & Francis, Scopus y Scielo. Las palabras claves utilizadas fueron relevantes para la búsqueda de información relacionada con la temática de este estudio; estas incluyeron: contaminación cruzada, productos cárnicos, inocuidad alimentaria y patógenos. Para la base de datos Pubmed, se emplearon términos del tesauro MeSH (Medical Subject Headings) los cuales se muestran a continuación:

```
(("cross"[All Fields] OR "crosse"[All Fields] OR "crossed"[All Fields] OR "crosses"[All Fields] OR "crossing"[All Fields] OR "crossings"[All Fields]) AND ("contaminant"[All Fields] OR "contaminant s"[All Fields] OR "contaminants"[All Fields] OR "contaminate"[All Fields] OR "contaminated"[All Fields] OR "contaminates"[All Fields] OR "contaminating"[All Fields] OR "contamination"[All Fields] OR "contaminations"[All Fields] OR "contaminative"[All Fields] OR "contaminated"[All Fields]) AND ("pathogen"[All Fields] OR "pathogen s"[All Fields] OR "pathogene"[All Fields] OR "pathogenes"[All Fields] OR "pathogenic"[All Fields] OR "pathogenically"[All Fields] OR "pathogenicities"[All Fields] OR "pathogenicity"[MeSH Subheading] OR "pathogenicity"[All Fields] OR "virulence"[MeSH Terms] OR "virulence"[All Fields] OR "pathogenity"[All Fields] OR "pathogenous"[All Fields] OR "pathogens"[All Fields]) AND ("meat products"[MeSH Terms] OR ("meat"[All Fields] AND "products"[All Fields]) OR "meat products"[All Fields])) AND ((y_10[Filter]) AND (ffrt[Filter]) AND (fft[Filter]))
```

En las demás bases de datos seleccionadas, la estrategia de búsqueda se basó en el uso de las palabras clave en combinación con los operadores booleanos AND y OR. También se utilizaron operadores de búsqueda avanzada como las comillas (") y el asterisco (*) con el fin de generar resultados más precisos, de la siguiente forma: ("Cross Contamination") AND ("Meat"* OR "Meat products") AND ("Food safety"). Además, se aplicaron los filtros necesarios de acuerdo con la base de datos y teniendo en cuenta los criterios de inclusión; estos fueron: rango de fecha entre 2015 y 2025, artículos de investigación y de revisión, idioma inglés y español y acceso abierto.

3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Selección de estudios.

La **Figura 1** ilustra el proceso de identificación, screening, inclusión y exclusión de los artículos.

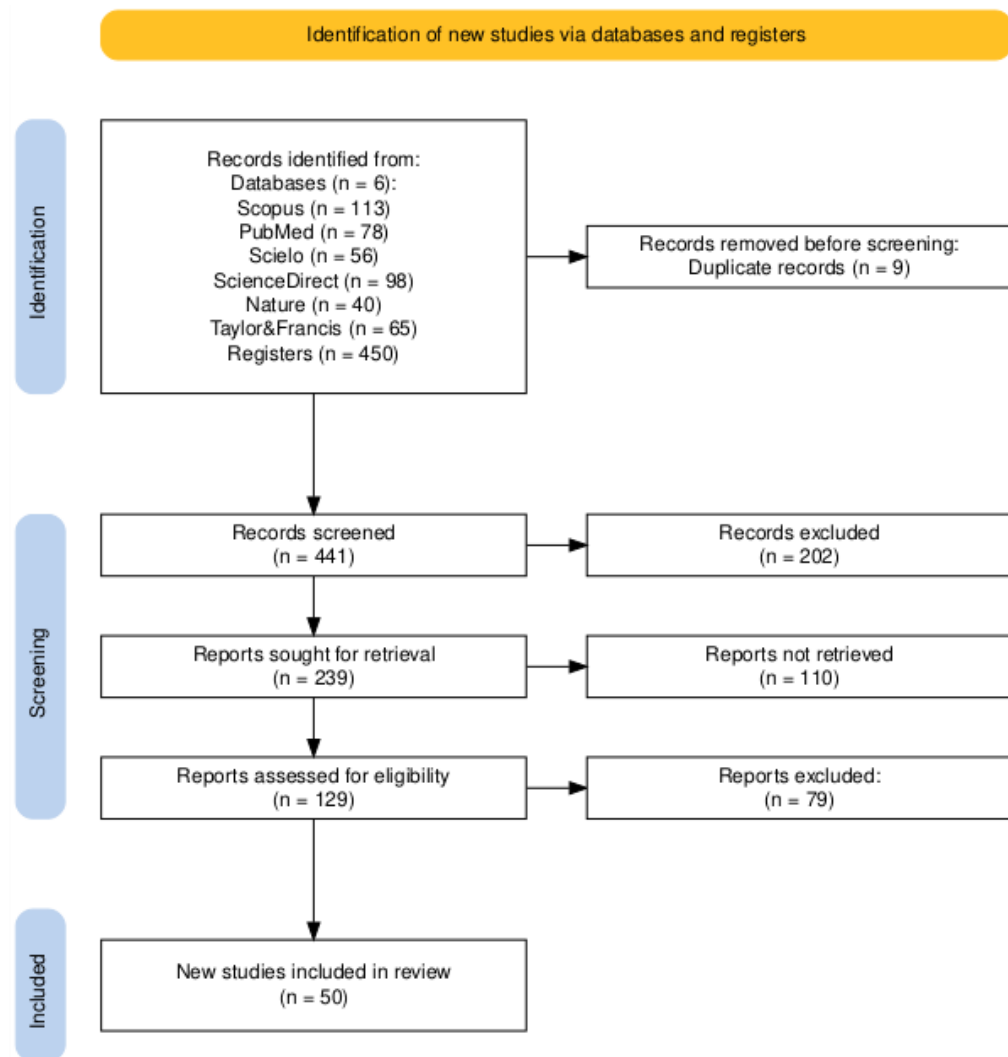


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020. Proceso de selección de artículos teniendo en cuenta los criterios de inclusión, exclusión y el uso de operadores booleanos. (Haddaway, Pritchard & McGuinness, 2022).

Luego de obtener los estudios de las diferentes bases de datos, se utilizó la herramienta de gestión y análisis bibliográfico Mendeley para la identificación y eliminación de artículos duplicados. Se encontraron 9 artículos duplicados, los cuales fueron excluidos de la muestra inicial.

Para el proceso de **screening** (**Figura 1**) se realizó una lectura inicial del título y el resumen (abstract). Como resultado, se excluyeron 202 artículos que no asociaban la contaminación cruzada en productos cárnicos como tema principal o no abordaban aspectos relacionados con los mecanismos de transferencia de patógenos causantes de enfermedades alimentarias. Por otro lado, a pesar del uso de palabras claves y filtros en la

búsqueda, se encontraron varios estudios que no correspondían a artículos de revisión o investigación; o se encontraban en un idioma diferente a inglés o español.

En la búsqueda efectuada, 110 artículos no tuvieron acceso abierto, por lo tanto, también fueron eliminados. Como resultado, se obtuvieron 129 artículos para revisar en texto completo mediante una lectura crítica. Luego de esto, se excluyeron 79 artículos, que contenían información similar, no presentaron datos precisos sobre contaminación cruzada en productos cárnicos, no brindaban información sobre fuentes, consecuencias o estrategias de control para la prevención de la contaminación cruzada en productos cárnicos o no se encontraron en revistas indexadas según la plataforma SCImago.

Por otro lado, la mayoría de los estudios incluidos en esta revisión fueron obtenidos de las bases de datos **PubMed, Scopus y Sciencedirect**, como se muestra en la **Figura 2**, Estas bases de datos concentran la mayor parte de la literatura utilizada, representando el mayor porcentaje, lo que evidencia que, estas plataformas son conocidas por su extenso repositorio de literatura científica de alto impacto y abarcan diversas disciplinas como Microbiología, Ciencias de la vida y de la Salud; las cuales facilitaron el acceso a estudios relevantes sobre el impacto contaminación cruzada en productos cárnicos sobre la calidad microbiológica de los mismos. Asimismo, los estudios seleccionados se encuentran indexados en revistas de alto impacto y prestigio internacional y se revisaron en la plataforma SCImago. Los términos Q1, Q2, Q3 se usan para clasificar revistas científicas según su impacto y calidad siendo el Q1 predominante en esta revisión. Esto garantiza la validez científica de los resultados, puesto que las revistas Q1 y Q2 son reconocidas por publicar investigaciones relevantes que han sido ampliamente citadas en la literatura. Por otro lado, aunque se prioriza la selección de artículos indexados en revistas Q1 y Q2, la inclusión de estudios en revistas Q3 aportó información valiosa, complementando el análisis sobre resultados aplicables de forma directa, como evaluaciones de desinfectantes, métodos de higiene o control microbiológico. Cabe resaltar que la mayoría de los estudios fueron en inglés.



Figura 2. Distribución de artículos finales incluidos por base de datos Nota. Elaboración propia (2025).

Síntesis de resultados

Una vez seleccionados los artículos que conforman esta revisión sistemática se organizó la información relevante en tablas, con el fin de estructurar y sintetizar los hallazgos de manera clara y dar cumplimiento a los objetivos específicos propuestos para este estudio.

La **Tabla 1** ilustra los estudios incluidos que abordan la identificación de las principales fuentes y mecanismos de contaminación cruzada en productos cárnicos. La **Tabla 2** menciona los artículos que describen las consecuencias de la contaminación cruzada sobre la inocuidad y vida útil de los productos cárnicos. La **Tabla 3**, por su parte,

reúne los artículos que asociaron las estrategias y prácticas de control eficaces con la prevención de la contaminación cruzada en plantas de procesamiento y puntos de venta.

Tabla 1. Principales fuentes y mecanismos de contaminación cruzada en productos cárnicos

Autor(es)/Año	Título	Producto Cárnico	Fuente de contaminación	Patógenos implicados	Hallazgos principales
Alhadlaq et al., 2023	Detection of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 in imported meat products from Saudi Arabian ports in 2017	Carne de res, pollo y cordero importada	Origen y procesamiento	<i>E. coli</i> O157:H7	6 % de muestras positivas; mayor frecuencia en pollo y res de India y Brasil.
Ali et al., 2022	Review of major meat-borne zoonotic bacterial pathogens	Carne y productos de origen animal	Producción, procesamiento, transporte, preparación	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Brucella</i> , entre otros	Resalta que múltiples etapas de la cadena alimentaria permiten la transmisión de patógenos zoonóticos resistentes.
Barcenilla et al., 2024	In-depth characterization of food and environmental microbiomes across different meat processing plants	Carne y productos cárnicos	Superficies de contacto y ambientes de procesamiento	Géneros persistentes como <i>Pseudomonas</i> , <i>Brochothrix</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Psychrobacter</i> (algunos con genes de virulencia/resistencia)	Las superficies de contacto regulan la microbiota final; ambientes mostraron abundancia de genes de resistencia y persistencia de especies entre materia prima, ambiente y producto final.
Chen et al., 2022	Whole-Genome Analysis of <i>Listeria monocytogenes</i> Isolated from Ready-to-Eat Meat Products: Insights into Persistence and Cross-Contamination Potential	Productos cárnicos listos para el consumo.	Superficies de contacto, equipos y ambientes de procesamiento	<i>Listeria monocytogenes</i>	Los aislamientos mostraron genes de resistencia a desinfectantes; se evidenció contaminación cruzada entre lotes y áreas de procesamiento.
Conway et al., 2022	Evaluation of Irish consumers' knowledge of salmonellosis and food-handling practices	Pollo y carne roja	Manipulación doméstica inadecuada: uso compartido de utensilios y superficies contaminadas	<i>Salmonella spp.</i>	Se evidenció bajo conocimiento sobre salmonelosis y malas prácticas higiénicas, factores que facilitan la contaminación cruzada durante el proceso.
Eguale et al., 2018	Prevalence and antimicrobial resistance of <i>Salmonella spp.</i> in raw meat and meat products in Ethiopia	Carne cruda pollo, res y cabra	Puntos de venta y plantas de procesamiento	<i>Salmonella spp.</i>	11.5 % de muestras positivas; se detectó resistencia múltiple a antibióticos, contaminación cruzada por manipulación y equipos compartidos en mataderos y carnicerías.
Humaun Oliulla et al., 2024	On-going issues regarding biofilm formation in meat and meat products: challenges and future perspectives	Carne y productos cárnicos	Superficies de procesamiento, equipos y ambientes en plantas cárnicas	Patógenos alimentarios en biofilm (<i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> , <i>Listeria</i>)	Identifica que la formación de biofilms en carne compromete la limpieza; propone tecnologías emergentes (plasma, enzimas, fagos)
Jainonthee et al., 2024	Exploring the Influence of Slaughterhouse Type and Slaughtering Steps on <i>Campylobacter jejuni</i>	Carne de pollo (canales)	Plantas de sacrificio tipo "backyard" y sacrificio	<i>Campylobacter jejuni</i>	Contaminación mayor en mataderos "backyard"; en el enfriamiento hubo menor recuento.

	Contamination in Chicken Meat		(desplume, evisceración, enfriamiento)		
Je et al., 2023	Systematic Review and Meta-Analysis of <i>Campylobacter</i> Species Contamination in Poultry, Meat, and Processing Environments in South Korea	Aves, carne (pollos, patos)	Ambientes de procesamiento, superficies de equipos, agua de lavado,	<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Campylobacter coli</i>	Prevalencia en pollo ~36,17 %; en pato ~70,46 %; <i>C. jejuni</i> y <i>C. coli</i> predominantes en ambientes de procesamiento.
Kenaw et al., 2024	Microbial Contamination and Meat Handling Practices in Hawassa City Butcher Shops, Ethiopia	Carne cruda	Superficies de contacto (tablas, cuchillos, básculas) y manejo higiénico de carnicerías	<i>Enterobacteriaceae</i> , estafilococos.	<i>Enterobacteriaceae</i> y estafilococos en carne y superficies superan los límites aceptables; el 83 % de la carne estaba expuesta a moscas y 64 % del equipo no se desinfectaba.
Lin et al., 2021	Contamination of chicken carcasses and the abattoir environment with <i>Listeria monocytogenes</i>	Carne de pollo (canales)	Superficies de planta de sacrificio, tanques de enfriamiento, equipo de procesado	<i>Listeria monocytogenes</i>	11,4 % de canales post-evisceración positivos; evidenciada la contaminación cruzada durante evisceración y enfriamiento.
López et al., 2023	Factors associated with microbiological contamination of chicken meat marketed in El Salvador	Carne de pollo	Puestos de venta municipales (puestos de mercado)	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Salmonella spp.</i>	Contaminación altamente relacionada con insuficiente higiene de manipuladores (no usar desinfectante, no secarse manos con toalla)
Madoroba et al., 2022	Presence and Virulence Characteristics of Shiga Toxin <i>Escherichia coli</i> and Non-Shiga Toxin-Producing <i>Escherichia coli</i> O157 in Products from Animal Protein Supply Chain Enterprises in South Africa	Carne cruda, procesada y productos listos para consumo (res, ave, cerdo, animales de caza)	Cadena de suministro animal (plantas, puntos de venta, importación)	STEC (<i>E. coli</i> productora de toxina Shiga) y <i>E. coli</i> O157 no productora de toxina	Se detectó <i>E. coli</i> O157 y STEC en un 1,59 % de muestras locales y 1,54 % de importadas. Se identificaron 16 combinaciones de genes de virulencia, lo que evidencia una diversidad genética relevante.
Matle et al., 2020	A review of <i>Listeria monocytogenes</i> from meat and meat products: Epidemiology, virulence factors, antimicrobial resistance and diagnosis	Carnes y productos cárnicos diversos	Cadena de procesamiento de carne (superficies, ambiente, equipos)	<i>Listeria monocytogenes</i>	La revisión informa prevalencias variables en carnes, múltiples factores de virulencia y resistencia, y la necesidad de métodos de diagnóstico sensibles.
Møller et al., 2016	Evaluation of a cross-contamination model describing transfer of <i>Salmonella spp.</i> and <i>Listeria monocytogenes</i> during grinding of pork and beef	Carne de cerdo y carne de res molida	Molinos / equipos de molienda usados para carne	<i>Salmonella spp.</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	El modelo predice transferencia de patógenos durante molienda, en múltiples ensayos, la temperatura baja y cuchillo bien afilado reducen la transferencia.
Nazari Moghadam et al., 2023	Prevalence of <i>Salmonella Typhimurium</i> and <i>Salmonella Enteritidis</i> isolated from poultry meat: virulence and antimicrobial-resistant genes	Carne de pollo (mercado minorista)	Mercados de distribución y puntos de venta de carne de pollo	<i>Salmonella Typhimurium</i>	9 % de muestras positivas a <i>Salmonella</i> ; todas las cepas mostraron genes de virulencia y resistencia múltiple antibiótica.

Ngo et al., 2021	Microbial contamination and associated risk factors in retailed pork from key value chains in Northern Vietnam	Carne de cerdo	Mercados tradicionales, tiendas modernas y servicios de comida	<i>Salmonella spp.</i>	58,1 % de muestras positivas a <i>Salmonella</i> ; herramientas compartidas, temperaturas elevadas y transporte prolongado incrementaron el riesgo.
Rincón-Gamboa et al., 2024	Distribution of <i>Listeria spp.</i> , and <i>Listeria monocytogenes</i> in micro- and small-scale meat product processing plants	Productos cárnicos procesados en plantas pequeñas	Superficies, equipos y zonas de empaque en plantas de procesamiento	<i>Listeria spp.</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	Frecuencia de <i>L. monocytogenes</i> entre 5,9-28,6 %; detectaron genotipos persistentes en equipos y zonas de empaque.
Serhan et al., 2024	Hygienic sanitary risk and microbiological quality of meat and meat-contact surfaces in traditional butcher shops and retail establishments	Carne cruda y molida en carnicerías tradicionales y puntos de venta	Superficies de contacto con alimentos y utensilios en carnicerías y tiendas minoristas	<i>Salmonella spp.</i> y <i>Listeria monocytogenes</i> (presuntivos detectados)	<i>Salmonella</i> presente en 63,8 % de cortes; <i>L. monocytogenes</i> en 47,2 % de carnes de carnicerías y 30,5 % de minoristas; riesgo higiénico considerado moderado
Shilenge et al., 2017	A review of microbial hazards associated with meat processing in butcheries	Carnes procesadas en carnicerías	Manipuladores humanos, superficies de trabajo, equipos e instrumentos	<i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> , <i>Listeria</i>	Los manipuladores y el equipamiento son fuentes clave de contaminación cruzada en carnicerías; la mala higiene y prácticas deficientes agravan el riesgo.
Soto Varela et al., 2016	Bacteria causing of foodborne diseases: An overview at Colombia	Carnes crudas y alimentos listos para consumo	Presencia detectada en productos finales; estudios locales en mercados y carnes	<i>Salmonella spp.</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> , <i>Aeromonas spp.</i> , <i>Vibrio spp.</i>	En Colombia hubo pocos estudios sobre rutas de contaminación; la mayoría detectó bacterias al producto final más que en etapas intermedias
Villalpando-Guzmán et al., 2017	Frecuencia, susceptibilidad antimicrobiana y patrón de adherencia de <i>Salmonella enterica</i> aislada de carne de pollo, res y cerdo de la Ciudad de México	Carne de pollo, res y cerdo (molida)	Puntos de venta minorista (mercados ambulantes y supermercados)	<i>Salmonella enterica</i> (diferentes serotipos)	19,7 % de muestras positivas a <i>S. enterica</i> ; mayor frecuencia en pollo; 90 % de cepas mostraron adherencia agregativa.
Wang et al., 2019	Biofilms and Meat Safety: A Mini-Review	Carnes frescas y productos cárnicos	Superficies de contacto en plantas cárnicas, equipos difíciles de sanear	Patógenos alimentarios en biofilm (<i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> , <i>Listeria</i>)	La formación de biopelículas mixtas en superficies facilita la persistencia de patógenos y reduce la eficacia de desinfección en plantas de carne.
Zwirzitz et al., 2021	Co-Occurrence of <i>Listeria spp.</i> and Spoilage Associated Microbiota During Meat Processing Due to Cross-Contamination Events	Carne procesada	Superficies de contacto con alimentos, ambiente de planta, equipos y manipuladores	<i>Listeria spp.</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Listeria spp.</i> presente en 50 % de muestras y <i>L. monocytogenes</i> en 13,6 %; co-ocurre con microbiota de biofilms (<i>Pseudomonas</i> , <i>Acinetobacter</i>) facilitando persistencia.

Tabla 2. Consecuencias de la contaminación cruzada sobre la inocuidad y vida útil de los productos cárnicos.

Autor(es)/Año	Título	Producto Carnico	Patogenos implicados	Consecuencias en inocuidad y calidad
Abdullah et al., 2025	Microbial Shelf Life and Quality Assessment of Broiler Breast Meat: The Role of Cold Storage and Carcass Weight	Carne de pollo	Mesófilos aeróbios, coliformes y bacterias psicrotóficas	Incremento progresivo de la carga microbiana durante la refrigeración; pérdida de calidad y reducción de la vida útil a menos de 5 días, reflejando el impacto de contaminación previa en la inocuidad del producto.
Barmettler et al., 2025	<i>Salmonella</i> in Swiss and Imported Retail Chicken Meat – A Cross-Sectional Study	Carne de pollo	<i>Salmonella enterica</i> , especialmente serotipo <i>Infantis</i>	3 % de muestras positivas (todas importadas); cepas portan megaplasmido pESI con resistencia y potencial de persistencia, comprometiendo la inocuidad del producto.
da Silva et al., 2022	<i>Salmonella</i> Behavior in Meat during Cool Storage: A Systematic Review and Meta-Analysis	Carnes (res, cerdo, pollo)	<i>Salmonella spp.</i>	La refrigeración no garantiza la eliminación del patógeno; en algunos casos se mantiene viable durante el almacenamiento, representando un riesgo para la inocuidad y la seguridad del consumidor.
Gomes et al., 2022	Characterization of <i>Salmonella enterica</i> Contamination in Pork and Poultry Meat from São Paulo/Brazil: Serotypes, Genotypes and Antimicrobial Resistance Profiles	Carne de cerdo y carne de pollo	<i>Salmonella enterica</i>	Aislamientos con resistencia antimicrobiana que comprometen la inocuidad; se sugiere riesgo por persistencia en la cadena de comercialización.
Hulankova et al., 2018	Microbiological quality of organic chicken meat during refrigerated storage in air and modified atmospheres	Carne de pollo	<i>Campylobacter jejuni</i> , microbiota deteriorante	<i>Campylobacter</i> persistió durante almacenamiento; vida útil limitada por crecimiento de flora mesófila y psicrófila (7 a 10 días según atmósfera)
Machado et al., 2016	Impacto da salmonelose na suinocultura e suas implicações em saúde pública	Productos de cerdo	<i>Salmonella spp.</i>	Presencia de <i>Salmonella</i> en diferentes etapas de la cadena sugiere riesgo persistente y potencial de contaminación cruzada desde equipos y utensilios, afectando la inocuidad del producto.
Rincón-Gamboa et al., 2021	Analysis of the assessment of antimicrobial susceptibility. Non-typhoid <i>Salmonella</i> in meat and meat products as model (systematic review)	Carne y productos cárnicos (pollo, cerdo y res)	<i>Salmonella enterica</i> no tifoidea	Aislamientos con alta resistencia antimicrobiana que comprometen la inocuidad y evidencian persistencia en la cadena de producción y comercialización.
Warmate & Onarinde, 2023	Food safety incidents in the red meat industry: A review of foodborne disease outbreaks linked to the consumption of red meat and its products, 1991 to 2021	Carne roja y productos derivados	<i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> , <i>Clostridium</i> , otros patógenos alimentarios	Incidentes de seguridad alimentaria derivados de fallas en control microbiano muestran la vulnerabilidad de la inocuidad del producto frente a brotes, evidenciando necesidad de gestión robusta.
Williams et al., 2021	Comparative history of <i>Campylobacter</i> contamination on chicken meat and campylobacteriosis cases in the United States: 1994-2018	Carne de pollo	<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Campylobacter spp.</i>	Reducción sostenida de <i>Campylobacter</i> en carne de pollo asociada a menor incidencia humana; evidencia del impacto de control microbiológico en la inocuidad del producto.
Zwirzitz et al., 2021	Co-Occurrence of <i>Listeria spp.</i> and Spoilage Associated Microbiota During Meat Processing Due to Cross-Contamination Events	Carne procesada	<i>Listeria spp.</i> / <i>Listeria monocytogenes</i>	Contaminación frecuente con <i>Listeria</i> , co-ocurrencia con microbiota deteriorante en biofilms que favorecen persistencia y evaden desinfección.

Tabla 3. Estrategias y prácticas de control eficaces para prevenir la contaminación cruzada en plantas de procesamiento y puntos de venta.

Autor(es)/Año	Título	Producto Carnico	Estrategías de control evaluadas/propuestas	Efectividad reportada
Amani & Sarkodie, 2022	Mitigating spread of contamination in meat supply chain management using deep learning	Carne roja pecedera	Uso de inteligencia artificial para detectar carne deteriorada y evitar su mezcla con carne en buen estado.	El modelo logró identificar con alta precisión las muestras contaminadas, reduciendo el riesgo de contaminación cruzada y mejorando la inocuidad del producto.
Awuchi, 2023	HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems	Sistemas alimentarios con aplicación a plantas de carne	Mejoras al sistema HACCP: integración de inteligencia artificial, automatización, software, monitoreo avanzado	La aplicación de tecnologías modernas mejora la eficiencia y control en HACCP, aunque son propuestas teóricas sin experimentación directa en carne
Fate et al., 2021	Assessment of Sanitation Practices for the Control of <i>Salmonella</i> and <i>Listeria monocytogenes</i> in Retail Delis	Productos cárnicos en delis minoristas	Evaluación de prácticas de saneamiento recomendadas por USDA y FDA	Identificación de prácticas efectivas y áreas de mejora en el control de patógenos
Gonzales-Barron et al., 2024	A Critical Review of Risk Assessment Models for <i>Listeria monocytogenes</i> in Meat and Meat Products	Carnes y productos cárnicos listos para el consumo	Modelos QMRA para optimizar controles preventivos: temperatura, formulación del producto y saneamiento ambiental	La combinación de estrategias reduce el riesgo de contaminación; evidencia teórica sin resultados experimentales
Hamed Taheri Gorji et al., 2022	Combining deep learning and fluorescence imaging to automatically identify fecal contamination on meat carcasses	Carne bovina y ovina (canales en matadero)	Detección automática de contaminación fecal mediante fluorescencia e inteligencia artificial como apoyo al sistema HACCP.	Precisión del 97% en identificación y alta confiabilidad para control visual en mataderos.
Hua & Zhu, 2024	Innovative Hurdle Strategies for <i>Listeria</i> Control on Food-Contact Surfaces: A Peroxyacetic Acid–Steam Approach	Superficies en contacto con alimentos (acero inoxidable)	Combinación de ácido peracético (PAA) y vapor saturado (100 °C, 6 s)	La combinación logró una reducción >5 log (99.999%) de <i>Listeria innocua</i> en 20 segundos. Fue significativamente más efectiva que el vapor o el PAA por separado.
Jung, Young & Sekercioglu et al., 2023	Ready-to-eat Meat Plant Characteristics Associated with Food Safety Deficiencies During Regulatory Compliance Audits, Ontario, Canada	Plantas procesadoras de carne lista para el consumo	Evaluación del cumplimiento de HACCP, BPM y SSOP en auditorías regulatorias	Las fallas en HACCP y SSOP se asocian a mayores incumplimientos; su fortalecimiento mejora la inocuidad
Lu et al., 2021	On farm interventions to minimise <i>Campylobacter spp.</i> contamination in chicken	Pollo (etapas de cría, granja)	Vacunación, aditivos en alimento/agua, bioseguridad estricta	Se reportan reducciones en colonización cuando se combinan estas estrategias, aunque las intervenciones aisladas no siempre son consistentes.
Møller et al., 2016	Robustness of a Cross Contamination Model Describing Transfer of Pathogens During Grinding of Meat	Carne molida (res, cerdo) durante molienda	Modelado para optimizar parámetros de molienda, filo de cuchilla o temperatura con el fin de minimizar transferencia microbiana	El modelo predice transferencia bajo varias condiciones; su robustez dependió del filo de la cuchilla, tipo de molino y temperatura
Ortiz et al., 2015	The Connection between Persistent, Disinfectant-Resistant <i>Listeria monocytogenes</i> Strains from Two Geographically Separate Iberian Pork Processing Plants:	Productos cárnicos listos para consumo (cerdo ibérico)	Evaluación de superficies descontaminadas, uso repetido de compuestos de amonio cuaternario (BAC) como desinfectantes; análisis de genomas de cepas persistentes para diseñar	Identificaron dos clones persistentes de <i>L. monocytogenes</i> resistentes a BAC; la persistencia se vinculó con un transposón de resistencia (Tn6188), sugiere que las estrategias convencionales de saneamiento son insuficientes sin

	Evidence from Comparative Genome Analysis		estrategias de saneamiento mejorado	rotación o validación de desinfectantes.
Rajan et al., 2016	Current aspects of Salmonella contamination in the US poultry production chain and the potential application of risk strategies in understanding emerging hazards	Carne avícola	Aplicación de modelos de evaluación cuantitativa de riesgo (QMRA) para identificar puntos críticos y orientar medidas de control en la cadena avícola.	Propone los modelos QMRA como herramienta útil para priorizar controles; no presenta resultados experimentales de eficacia.
Revelou, P.-K.; et al. 2024	Applications of Machine Learning in Food Safety and HACCP Monitoring of Animal-Source Foods	Cárnicos cocidos	Aprendizaje automático para predicción microbiológica y monitoreo automatizado de HACCP	90% de precisión predictiva
Sohaib et al., 2015	Postharvest intervention technologies for safety enhancement of meat and meat-based products: a critical review	Carnes y productos cárnicos en la etapa posterior al sacrificio del animal	Aplicación de ácidos orgánicos, presión hidrostática, irradiación, pulsos eléctricos, envasado activo y antimicrobianos naturales	Sugiere que combinar tecnologías ("múltiples barreras") es más eficaz para reducir patógenos y prolongar vida útil, aunque algunas técnicas aún requieren validación práctica
Ssemanda et al., 2025	Cost-effectiveness of interventions toward improving microbial food safety of chicken meat along supply chains in Burkina Faso and Ethiopia	Carne de pollo en cadena de suministro (granjas, transporte, mercados)	Intervenciones sanitarias: lavado, utensilios designados, bioseguridad mejorada, evitar contaminación cruzada	Intervenciones seleccionadas demostraron bajo costo-efectividad, siendo algunas como lavado y uso de utensilios los más eficientes
Thaivalappil et al., 2025	Factors influencing food safety and good manufacturing practices in ready-to-eat meat processing plants in Ontario, Canada: A qualitative study	Plantas procesadoras de carne lista para el consumo	Aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), capacitación del personal y auditorías internas como herramientas de mejora	La eficacia depende del compromiso gerencial; la falta de seguimiento y formación limita los resultados
Vikram et al., 2021	Phage Biocontrol Applications in Food Production and Processing	Carne y productos alimentarios en procesamiento y superficies	Uso de fagos líticos para desinfección de superficies, aplicación poscosecha directa y limpieza de contacto	Revisiones indican que los fagos pueden reducir patógenos con especificidad sin afectar la microflora benigna
Wieczorek, K., Dmowska, K., & Osek, J. (2018)	Prevalence, characterization, and antimicrobial resistance of <i>Listeria monocytogenes</i> isolates from ready-to-eat meat products in Poland	Productos cárnicos listos para el consumo (jamones, embutidos, salchichas)	Aplicación de programas HACCP y monitoreo microbiológico en plantas procesadoras; análisis de resistencia antimicrobiana para vigilancia continua.	Los resultados mostraron presencia de <i>Listeria monocytogenes</i> en el 7.2 % de las muestras. Aunque los programas HACCP redujeron la incidencia en algunas plantas, la persistencia de cepas resistentes indica necesidad de reforzar controles de saneamiento y verificación microbiológica.
Wu et al., 2019	Comparative Evaluation of Different Sanitizers Against <i>Listeria monocytogenes</i> Biofilms on Major Food-Contact Surfaces	Superficies de contacto en cárnicos (acero inoxidable, LDPE, PVC, goma)	Desinfección con QAC, Cloro (NaClO), Ácido peracético (PAA), Dióxido de cloro (ClO ₂)	QAC y PAA: alta eficacia (3.0–4.5 log ₁₀ reducción); Cloro: moderada (1.0–3.8 log ₁₀); ClO ₂ : baja a moderada (0.6–2.7 log ₁₀)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente análisis sistemático se analiza el impacto de la contaminación cruzada en la calidad microbiológica de los productos cárnicos, para ello en primer lugar se identificaron las principales fuentes y mecanismos de contaminación cruzada en productos cárnicos como se muestra en la **Tabla 1**, los estudios incluidos la persistencia de equipos, superficies de contacto, utensilios y manipuladores como fuentes críticas de contaminación cruzada. Además, se evidencian múltiples puntos de contaminación a lo largo de la cadena alimentaria desde la planta de sacrificio y procesamiento hasta puntos de venta minoristas y domésticos, la carne se ve expuesta a diversas fuentes de contaminación por parte de diferentes patógenos. Sin embargo, la contaminación no se limita a un solo patógeno ya que muchos estudios reportan la presencia simultánea de microorganismos como *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* y *Campylobacter*, esta capacidad de los microorganismos para formar comunidades microbianas organizadas, llamados biofilms favorece la creación de microambientes resistentes, donde los desinfectantes convencionales pierden efectividad y se facilita la diseminación de patógenos hacia los alimentos. Según Humaun Oliulla et al. (2024), la formación de biofilms en superficies de procesamiento y equipos representa uno de los principales desafíos para la industria cárnica, ya que estos consorcios microbianos permiten la persistencia de patógenos como *Salmonella*, *E. coli* y *Listeria monocytogenes*, incluso después de las rutinas de limpieza y desinfección.

Las evidencias encontradas, demuestran que la contaminación cruzada en productos cárnicos constituye un proceso influido por varios factores, como humanos, ambientales y de infraestructura. En establecimientos minoristas y carnicerías, la falta de limpieza y desinfección adecuada favorece la transferencia microbiana desde superficies, utensilios y equipos hacia la carne, debido a que algunos microorganismos como *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.* Presentan una alta capacidad de adherencia y formación de biopelículas, lo que les permite sobrevivir en superficies, utensilios y equipos incluso después de procesos rutinarios de limpieza (Serhan et al., 2024; Kenaw et al., 2024). Estos autores evidencian que la exposición de la carne a condiciones insalubres, sumada a la presencia de vectores como moscas, incrementa significativamente la carga bacteriana en los puntos de venta deteriorando el producto y afectando su calidad microbiológica.

Asimismo, los estudios reportan que los manipuladores y los utensilios compartidos constituyen reservorios importantes de contaminación cruzada (Shilenge et al. 2017). Por su parte, Lin et al. (2021) observaron que el problema puede originarse en las plantas de sacrificio, donde las superficies, equipos y tanques de enfriamiento podrían albergar microorganismos como, *Escherichia coli* O157 y los *E. coli* productores de toxina Shiga (STEC) o *Campylobacter spp.* que posteriormente pueden transmitirse a lo largo de la cadena de producción, estos microorganismos se reportan con frecuencia en carne de res y productos avícolas, indicando el nivel de contaminación fecal durante el sacrificio. De la misma manera, la presencia recurrente de *Salmonella spp.* y *E. coli* en carnes distribuidas en mercados minoristas (Villalpando-Guzmán et al., 2017) refuerza la hipótesis de que la contaminación inicial durante el sacrificio se incrementa por prácticas inadecuadas de higiene durante el almacenamiento y la venta, además de la manipulación de diferentes tipos de carne en un mismo espacio, el uso frecuente de cuchillos y tablas sin desinfección previa, así como el contacto con manos contaminadas, se constituyen como principales mecanismos de contaminación cruzada. En este sentido, Jainonthee et al. (2024) destacan que los tipos de planta y los pasos del sacrificio, especialmente la evisceración y el enfriamiento ya que son pasos que tienen por objetivo frenar la proliferación de microorganismos patógenos y prolongar la vida útil del producto, son determinantes críticos de contaminación, siendo los mataderos de tipo artesanal o “backyard” los que presentan las mayores prevalencias de patógenos.

Frecuencia de microorganismos por fuente de contaminación

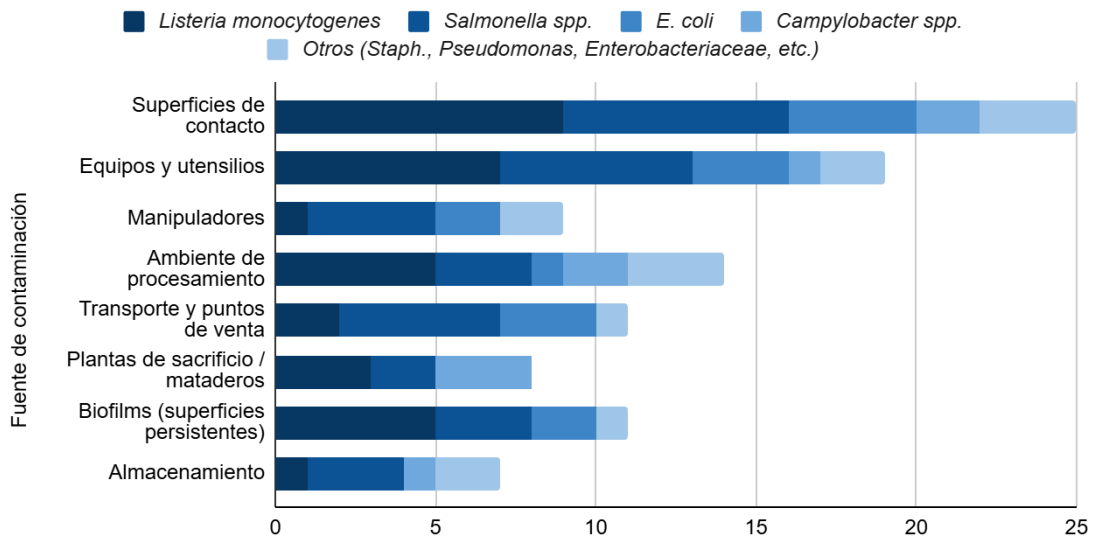


Figura 3. Frecuencia de microorganismos por fuente de contaminación en productos cárnicos. El gráfico agrupa las principales fuentes de contaminación reportadas en los estudios revisados (superficies, equipos, manipuladores, ambiente, transporte, plantas de sacrificio, biofilms y almacenamiento), mostrando la distribución de los microorganismos más relevantes: *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Campylobacter spp.* y otros géneros asociados (*Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae*). Nota. Elaboración propia (2025)

La **Figura 3** muestra la frecuencia con que las diversas fuentes de contaminación fueron reportadas en los estudios analizados, en relación con los principales microorganismos identificados en productos cárnicos. En la figura, se observa que las superficies de contacto y los equipos o utensilios constituyen los puntos más críticos de contaminación cruzada, representando la mayor cantidad de reportes en la literatura.

También destaca, que los patógenos más frecuentes son *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes*, ambos asociados tanto a la persistencia en superficies y biofilms como a la transmisión durante el procesamiento y manipulación. Por otra parte, *E. coli* y *Campylobacter spp.* se relacionaron principalmente con la manipulación inadecuada y las condiciones deficientes de transporte o sacrificio. Estos resultados reflejan los diferentes factores que pueden contribuir en la contaminación cruzada, evidenciando la necesidad de fortalecer las estrategias de higiene, saneamiento y control microbiológico en toda la cadena cárnica, desde la producción hasta la venta al consumidor.



Figura 4. Factores críticos de contaminación cruzada en la línea de procesamiento cárnico. Created in <https://BioRender.com> Nota. Elaboración propia (2025).

En la **Figura 4** se muestran los principales puntos críticos de contaminación cruzada identificados a lo largo de la línea de procesamiento de productos cárnicos. Este esquema integra los factores más relevantes descritos en la literatura, mostrando cómo cada etapa, desde la recepción de la materia prima hasta la distribución y venta de la carne, puede actuar como un punto de transferencia microbiana. Además, se destaca la influencia de las condiciones higiénico-sanitarias, la manipulación humana, el contacto con superficies y equipos, así como el control de temperatura durante el almacenamiento, todos ellos determinantes en la persistencia y propagación de patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *E. coli* O157:H7 y *Campylobacter jejuni*. En este sentido, los hallazgos evidencian que la contaminación cruzada en la carne resulta de una interacción entre prácticas de manejo, infraestructura y control sanitario, lo que resalta la necesidad de implementar protocolos integrales de limpieza, que incluyan programas efectivos de limpieza y desinfección en plantas de sacrificio, capacitaciones continuas al personal manipulador, y monitoreo microbiológico sistemático de superficies y equipos en todos los segmentos de la cadena de suministro de productos cárnicos. En este sentido, los patrones observados evidencian que el control del riesgo microbiológico debe abordarse de forma sistémica y preventiva, integrando cada etapa de la cadena cárnica. Solo a través de un enfoque organizado es posible reducir la persistencia de patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* y *E. coli* O157, asegurando productos más inocuos y un menor impacto en la salud pública.

De acuerdo con todo lo anterior, las evidencias también muestran, que la contaminación microbiana en productos cárnicos no sólo representa un riesgo directo para la salud pública, sino que también afecta la calidad, vida útil e inocuidad de la carne a lo largo de toda la cadena de producción y comercialización. Los hallazgos de la **Tabla 2** indican que *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni* y otras bacterias deteriorantes son los principales agentes implicados en la pérdida de inocuidad de los productos cárnicos. Los microorganismos deteriorantes, como *Pseudomonas spp.*, el género *Enterobacteriaceae*, o las bacterias ácido-lácticas (BAL), son aquellas que, aunque no siempre causan enfermedad, alteran las propiedades sensoriales y fisicoquímicas de los alimentos. En la carne, estas bacterias, consumen los nutrientes del tejido y producen malos olores, cambios de color, textura viscosa y pérdida de frescura, reduciendo así la vida útil y la calidad microbiológica del producto. Su presencia también indica fallas en refrigeración, higiene o manipulación, factores que comprometen la inocuidad,

ya que pueden estar presentes simultáneamente con patógenos más peligrosos como *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.* Por ejemplo, en el caso de la *Salmonella entérica*, varios estudios coinciden en su alta capacidad de persistencia y resistencia antimicrobiana. Gomes et al. (2022) reportaron aislamientos multirresistentes en carne de cerdo y pollo en São Paulo, lo que sugiere una propagación continua a lo largo de la cadena cárnica. De forma similar, Rincón-Gamboa et al. (2021) y Machado et al. (2016) destacan la importancia de este patógeno como indicador de fallas en higiene y control microbiológico, pues puede sobrevivir en equipos, utensilios y superficies de trabajo, poniendo en riesgo la seguridad del consumidor final.

Además, el estudio de Barmettler et al. (2025) identificó el serotipo *Salmonella Infantis* portador del megaplásmido pESI, el cual le confiere resistencia múltiple y una importante capacidad de persistencia incluso en carne refrigerada. Esto coincide con lo reportado por da Silva et al. (2022), quienes realizaron una revisión sistemática y metaanálisis sobre *Salmonella* en carne de res, cerdo y pollo, además evaluaron su comportamiento durante el almacenamiento en frío. A partir de estas evidencias, se observó que el patógeno puede mantenerse viable en condiciones de refrigeración, e incluso multiplicarse lentamente dependiendo de la temperatura y del tipo de atmósfera en la que se encuentre, lo que evidencia que la temperatura por sí sola no es una barrera eficaz para su control. En relación con *Listeria monocytogenes*, se demostró su coexistencia con microorganismos deteriorantes en biofilms dentro de plantas procesadoras, un fenómeno que permite su supervivencia a pesar del uso de desinfectantes convencionales. Este comportamiento no solo pone en riesgo la inocuidad del producto, sino que también acelera el deterioro sensorial y reduce la vida útil, dado que estas biopelículas actúan como reservorios de contaminación cruzada hacia nuevos lotes de carne, donde se puede seguir propagando la contaminación. (Zwirzitz et al. 2021)

Por otra parte, los estudios de Hulankova et al. (2018) y Williams et al. (2021) destacan la relevancia de *Campylobacter jejuni* como un patógeno de difícil control en carne de pollo, capaz de sobrevivir durante el almacenamiento en atmósferas modificadas o refrigeradas es por este motivo que su persistencia en productos frescos constituye un reto para la inocuidad y la prevención de campilobacteriosis.

Aunque la contaminación se atribuye en mayor medida a ciertos microorganismos, la calidad microbiológica también se puede ver afectada por la proliferación de bacterias deteriorantes, como mesófilos y psicrófilos (Abdullah et al. 2025). Algunos estudios demostraron que el crecimiento de estas poblaciones durante la refrigeración reduce la vida útil del pollo a menos de cinco días, evidenciando que la contaminación previa al almacenamiento influye directamente en la calidad y aceptabilidad del producto. Adicionalmente, los brotes asociados al consumo de carnes se originan principalmente por deficiencias en el control microbiológico y en la gestión de la inocuidad, lo que evidencia la vulnerabilidad del sistema alimentario frente a la resistencia antimicrobiana. Así pues, los resultados de esta tabla muestran que la contaminación microbiana no sólo tiene implicaciones sanitarias, sino también económicas y tecnológicas, al acortar la vida útil, aumentar las pérdidas y afectar la confianza del consumidor. Las evidencias de resistencia antimicrobiana, persistencia ambiental y formación de biofilms reflejan la necesidad de reforzar las buenas prácticas de manufactura (BPM) y control de temperatura, así como de integrar tecnologías y sistemas de vigilancia microbiológica en todos los segmentos de la cadena de producción.

En la **Tabla 3**, se exponen los estudios que integran estrategias preventivas, tecnológicas y de gestión que actúan sobre los puntos críticos de la cadena productiva. Los estudios analizados coinciden en que la aplicación de sistemas como HACCP, BPM y SSOP sigue siendo la base del control sanitario en plantas procesadoras, aunque su eficacia depende en gran medida del compromiso institucional y la capacitación del personal. Se evidenció que las deficiencias en la implementación de estos sistemas, especialmente por falta de seguimiento o auditorías ineficaces, aumentan las no conformidades en productos listos para el consumo. Esto resalta la necesidad de fortalecer la cultura de inocuidad y mantener la vigilancia continua de los procesos. (Thaivalappil et al. 2025; Jung et al. 2023). En los últimos años, se han incorporado nuevas tecnologías con potencial para mejorar el control

microbiológico. La inteligencia artificial (IA) ha sido aplicada para la detección temprana de contaminación o deterioro en carne, mostrando resultados favorables. Los estudios reportaron que los modelos de aprendizaje profundo lograron identificar con alta precisión carne contaminada, evitando su mezcla con lotes en buen estado. (Amani y Sarkodie 2022)

Por otro lado, se han desarrollado estrategias físicas y químicas complementarias orientadas al saneamiento. Wu et al. (2019) compararon distintos desinfectantes sobre superficies en contacto con carne, destacando la eficacia del ácido peracético (PAA) y los compuestos de amonio cuaternario (QAC), con reducciones entre 3.0 y 4.5 \log_{10} de *Listeria monocytogenes*. En la misma línea, Hua y Zhu (2024) propusieron una estrategia combinada de PAA con vapor saturado, logrando una reducción $>5 \log$ (99.999 %) de *Listeria* en apenas 20 segundos, lo que demuestra el potencial de las tecnologías de barrera frente a microorganismos persistentes en biofilms.

Asimismo, se han explorado enfoques innovadores como el uso de fagos líticos (Vikram et al., 2021), que ofrecen una alternativa natural para eliminar patógenos sin alterar la microflora benigna, y el modelado predictivo de contaminación cruzada en procesos de molienda (Møller et al., 2016), útil para definir parámetros óptimos de temperatura y corte que reduzcan la transferencia microbiana entre lotes. Otros estudios, como los de Gonzales-Barron et al. (2024) y Rajan et al. (2016), destacan la utilidad de los modelos QMRA (Evaluación Cuantitativa de Riesgo Microbiológico) para identificar puntos críticos y orientar las medidas preventivas en la cadena cárnica, aunque su aplicación práctica aún depende de la disponibilidad de datos específicos y la capacidad técnica de cada planta.

En general, los resultados demuestran que la inocuidad en productos cárnicos depende de un enfoque integral, en el que la prevención, la vigilancia microbiológica y la innovación tecnológica se articulen para limitar la transferencia de patógenos. Las evidencias coinciden en que la contaminación cruzada puede mitigarse de forma eficaz si se combinan medidas de bioseguridad, saneamiento, control de temperatura y monitoreo automatizado, fortalecidas por una cultura institucional comprometida con la calidad y la transparencia. Por tanto, este análisis confirma que abordar la contaminación cruzada no solo implica la reducción de riesgos microbiológicos, sino también el fortalecimiento de sistemas de producción sostenibles y trazables, donde la seguridad del consumidor y la calidad del alimento sean ejes primarios. Los avances tecnológicos y las estrategias de control integradas representan una oportunidad para transformar los procesos tradicionales en cadenas cárnicas, seguras y orientadas a la prevención, elemento clave para garantizar la inocuidad alimentaria y calidad microbiológica a nivel global.

5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Una de las principales limitaciones de esta revisión fue la disponibilidad restringida de artículos de acceso abierto (open access) que hacen parte de los criterios de inclusión utilizados, lo que limitó la inclusión de ciertos estudios potencialmente relevantes. Algunos trabajos con resultados experimentales o enfoques complementarios sobre contaminación cruzada en productos cárnicos no pudieron ser incorporados debido a barreras de acceso a los textos completos, lo cual pudo afectar la amplitud del análisis y la representatividad global de la evidencia recopilada.

6. CONCLUSIONES

La revisión permitió evidenciar que la contaminación cruzada en los productos cárnicos representa un desafío constante para la inocuidad alimentaria, debido a que su origen está influenciado por muchos factores y a la persistencia de patógenos como *Salmonella entérica*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Campylobacter spp.* en diversas etapas de la cadena productiva. Los estudios analizados demostraron que las principales fuentes de contaminación corresponden a las superficies de contacto, los equipos de procesamiento y la manipulación

humana, dichos factores favorecen la transferencia microbiana y la formación de biopelículas que son resistentes a procesos de desinfección. Asimismo, la evidencia reflejó el impacto de la resistencia antimicrobiana y de las bacterias deteriorantes sobre la calidad del producto y la seguridad alimentaria del consumidor. Finalmente, las estrategias de control evaluadas, como las BPM, HACCP, tecnologías emergentes y el uso de inteligencia artificial, demuestran un potencial significativo para disminuir estos riesgos, aunque su eficacia depende de una implementación integral, continua y adaptada a las condiciones específicas de cada lugar. En conjunto, los hallazgos reafirman la necesidad de fortalecer la gestión microbiológica y la trazabilidad en toda la cadena cárnica como pilares esenciales para garantizar productos seguros y de calidad.

7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a Dios por darme la oportunidad de aprender y estar en un contexto educativo que me impulsa a seguir superándome y por la sabiduría para recorrer este camino académico. Infinitas gracias a mi hermana por ser mi guía, mi apoyo incondicional y sostén, a mi familia y pareja, por su amor, apoyo y dedicación. También, me gustaría agradecer a la Universidad Santiago de Cali, por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar y convertirme en profesional. Finalmente, a los docentes que, a lo largo de este camino de aprendizaje, compartieron sus conocimientos con paciencia y pasión, por esta hermosa carrera.

8. DECLARACIÓN DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

De acuerdo con la circular normativa DGI No 002 de la Universidad Santiago de Cali, se utilizó la herramienta de inteligencia artificial IA ChatGPT, para apoyar la redacción preliminar y revisión ortográfica del documento. Todo el contenido ha sido reelaborado críticamente por el autor del trabajo y del tutor

9. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, A. Y., Al-Nabulsi, A., Jamama'h, M., Khataybeh, B., & Al-Ghadi, M. (2025). Microbial Shelf Life and Quality Assessment of Broiler Breast Meat: The Role of Cold Storage and Carcass Weight. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 640, 14(4), 640. <https://doi.org/10.3390/FOODS14040640>
- Alhadlaq, M. A., Mujallad, M. I., & Alajel, S. M. I. (2023). Detection of Escherichia coli O157:H7 in imported meat products from Saudi Arabian ports in 2017. *Scientific Reports*, 13(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/S41598-023-30486-2;SUBJMETA>
- Ali, S., & Alsayeqh, A. F. (2022). Review of major meat-borne zoonotic bacterial pathogens. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.1045599>
- Awuchi, C. G. (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280>
- Baer, A. A., Miller, M. J., & Dilger, A. C. (2013). Pathogens of Interest to the Pork Industry: A Review of Research on Interventions to Assure Food Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(2), 183–217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12001>
- Barcenilla, C., Cobo-Díaz, J. F., Puente, A., Valentino, V., de Filippis, F., Ercolini, D., Carlino, N., Pinto, F., Segata, N., Prieto, M., López, M., & Alvarez-Ordóñez, A. (2024). In-depth characterization of food and environmental microbiomes across different meat processing plants. *Microbiome*, 12(1), 199. <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01856-3>

Barmettler, K., Kelbert, L., Horlbog, J. A., Cernela, N., Biggel, M., & Stephan, R. (2025). Salmonella in Swiss and Imported Retail Chicken Meat – A Cross-Sectional Study. *Journal of Food Protection*, 88(7). <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100532>

Calvo-Arrieta, K., Matamoros-Montoya, K., Arias-Echandi, M. L., Huete-Soto, A., & Redondo-Solano, M. (2021). Presence of listeria monocytogenes in ready-to-eat meat products sold at retail stores in costa rica and analysis of contributing factors. *Journal of Food Protection*, 84(10), 1729–1740. <https://doi.org/10.4315/JFP-21-020>

Carne | INVIMA. (n.d.). Retrieved October 15, 2025, from <https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/carne>

Carrasco, E., Morales-Rueda, A., & García-Gimeno, R. M. (2012). Cross-contamination and recontamination by Salmonella in foods: A review. *Food Research International*, 45(2), 545–556. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.11.004>

Conway, A., Ehuwa, O., Manning, M., Maye, A., Moran, F., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2023). Evaluation of irish consumers' knowledge of salmonellosis and food-handling practices. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit = Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 18(1), 43–55. <https://doi.org/10.1007/S00003-022-01405-W>

Fang, Y., Stanford, K., & Yang, X. (2022). Lactic Acid Resistance and Population Structure of Escherichia coli from Meat Processing Environment. *Microbiology Spectrum*, 10(5). <https://doi.org/10.1128/SPECTRUM.01352-22>

FAO. (1991). General hygiene principles for meat handling. *Guidelines for Slaughtering, Meat Cutting and Further Processing*, 1–26. <https://www.fao.org/3/t0279e/T0279E05.htm#ch5>

Fate, S. E., Schweihofner, J. P., & Conklin, T. (2021). Assessment of sanitation practices for the control of listeria monocytogenes at small and very small ready-to-eat meat and poultry processors. *Journal of Food Protection*, 84(9), 1567–1574. <https://doi.org/10.4315/JFP-20-415>

Gomes, V. T. M., Moreno, L. Z., Silva, A. P. S., Thakur, S., la Ragione, R. M., Mather, A. E., & Moreno, A. M. (2022). Characterization of Salmonella enterica Contamination in Pork and Poultry Meat from São Paulo/Brazil: Serotypes, Genotypes and Antimicrobial Resistance Profiles. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/PATHOGENS11030358>

Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., de Oliveira Mota, J., Guillier, L., & Sanaa, M. (2024). A Critical Review of Risk Assessment Models for Listeria monocytogenes in Meat and Meat Products. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/FOODS13030359>

Gorji, H. T., Shahabi, S. M., Sharma, A., Tande, L. Q., Husarik, K., Qin, J., Chan, D. E., Baek, I., Kim, M. S., MacKinnon, N., Morrow, J., Sokolov, S., Akhbardeh, A., Vasefi, F., & Tavakolian, K. (2022). Combining deep learning and fluorescence imaging to automatically identify fecal contamination on meat carcasses. *Scientific Reports*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-06379-1;SUBJMETA>

Guidelines for slaughtering, meat cutting and further processing. (n.d.). Retrieved October 15, 2025, from <https://www.fao.org/4/T0279E/T0279E00.htm>

Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2), e1230. <https://doi.org/10.1002/CL2.1230>

Hua, Z., Korany, A. M., El-Shinawy, S. H., & Zhu, M. J. (2019). Comparative Evaluation of Different Sanitizers Against Listeria monocytogenes Biofilms on Major Food-Contact Surfaces. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.02462>

- Hua, Z., & Zhu, M. J. (2024). Innovative Hurdle Strategies for *Listeria* Control on Food-Contact Surfaces: A Peroxyacetic Acid-Steam Approach. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/FOODS13162481>
- Hulankova, R., Borilova, G., Abdullah, F. A. A., & Buchtova, H. (2018). Microbiological quality of organic chicken meat during refrigerated storage in air and modified atmospheres. *British Poultry Science*, 59(5), 506–513. <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1496399>
- Inocuidad de los alimentos*. (n.d.). Retrieved October 15, 2025, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Jainonthee, C., Chaisowwong, W., Ngamsanga, P., Meeyam, T., Sampedro, F., Wells, S. J., & Pichpol, D. (2024). Exploring the influence of slaughterhouse type and slaughtering steps on *Campylobacter jejuni* contamination in chicken meat: A cluster analysis approach. *Heliyon*, 10(12), e32345. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E32345>
- Je, H. J., Singh, S., Kim, D. W., Hur, H. S., Kim, A. L., Seo, E. J., & Koo, O. K. (2023). Systematic Review and Meta-Analysis of *Campylobacter* Species Contamination in Poultry, Meat, and Processing Environments in South Korea. *Microorganisms*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS11112722>
- Jung, J., Sekercioglu, F., & Young, I. (2023). Ready-to-eat Meat Plant Characteristics Associated with Food Safety Deficiencies During Regulatory Compliance Audits, Ontario, Canada. *Journal of Food Protection*, 86(9), 100135. <https://doi.org/10.1016/J.JFP.2023.100135>
- Kenaw, Z., Ejeso, A., Deresse, D., & Olkeba, B. K. (2024). Microbial Contamination and Meat Handling Practices in Hawassa City Butcher Shops, Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 18. <https://doi.org/10.1177/11786302241293289>
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H., & Oh, D. H. (2017). Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety – A review. *Food Control*, 73, 1426–1444. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2016.11.010>
- Kurpas, M., Wieczorek, K., & Osek, J. (2018). Ready-to-eat Meat Products As a Source of *Listeria Monocytogenes*. *Journal of Veterinary Research*, 62(1), 49–55. <https://doi.org/10.1515/JVETRES-2018-0007>
- Lin, C. H., Adams, P. J., Huang, J. F., Sun, Y. F., Lin, J. H., & Robertson, I. D. (2021). Contamination of chicken carcasses and the abattoir environment with *Listeria monocytogenes* in Taiwan. *British Poultry Science*, 62(5), 701–709. <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1927984>
- López, A., Burgos, T., Vanegas, M., Álvarez, Z., Mendez, Y., & Quinteros, E. (2023). Factors associated with microbiological contamination of chicken meat marketed in El Salvador. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 40(1), 25–33. <https://doi.org/10.17843/RPMESP.2023.401.12100>
- Lu, T., Marmion, M., Ferone, M., Wall, P., & Scannell, A. G. M. (2021). On farm interventions to minimise *Campylobacter* spp. contamination in chicken. *British Poultry Science*, 62(1), 53–67. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1813253>
- Machado, G. B., Moura, S. V. de, Fortes, T. P., Felix, S. R., Timm, C. D., & Silva, É. F. da. (2016). Impacto da salmonelose na suinocultura e suas implicações em saúde pública. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 83(0). <https://doi.org/10.1590/1808-1657000472014>
- Madoroba, E., Malokotsa, K. P., Ngwane, C., Lebelo, S., & Magwedere, K. (2022). Presence and Virulence Characteristics of Shiga Toxin *Escherichia coli* and Non-Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* O157 in Products from Animal Protein Supply Chain Enterprises in South Africa. *Foodborne Pathogens and Disease*, 19(6), 386–393. <https://doi.org/10.1089/FPD.2021.0062>

- Matle, I., Mbatha, K. R., & Madoroba, E. (2020). A review of *Listeria monocytogenes* from meat and meat products: Epidemiology, virulence factors, antimicrobial resistance and diagnosis. *The Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 87(1), 1–20. <https://doi.org/10.4102/OJVR.V8711.1869>
- Mihaiu, M., T̃ab̃aran, A., T̃ab̃aran, T., Luiz Da Silva, J., Serpa Vieira, B., Carvalho, F. T., César, R., Carvalho, T., & Eustáquio De Souza Figueiredo, E. (2022). Salmonella Behavior in Meat during Cool Storage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Animals* 2022, Vol. 12, Page 2902, 12(21), 2902. <https://doi.org/10.3390/ANI12212902>
- Møller, C. O. A., Sant'Ana, A. S., Hansen, S. K. H., Nauta, M. J., Silva, L. P., Alvarenga, V. O., Maffei, D., Silva, F. F. P., Lopes, J. T., Franco, B. D. G. M., Aabo, S., & Hansen, T. B. (2016). Evaluation of a cross contamination model describing transfer of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* during grinding of pork and beef. *International Journal of Food Microbiology*, 226, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.03.016>
- Møller, C. O. de A., Sant'Ana, A. S., Hansen, S. K. H., Nauta, M. J., Silva, L. P., Alvarenga, V. O., Maffei, D., Pacheco, F., Lopes, J., Franco, B. D. G. M., Aabo, S., & Hansen, T. B. (2016). Robustness of a Cross Contamination Model Describing Transfer of Pathogens During Grinding of Meat. *Procedia Food Science*, 7, 97–100. <https://doi.org/10.1016/J.PROFOO.2016.02.096>
- Nazari Moghadam, M., Rahimi, E., Shakerian, A., & Momtaz, H. (2023). Prevalence of *Salmonella* Typhimurium and *Salmonella* Enteritidis isolated from poultry meat: virulence and antimicrobial-resistant genes. *BMC Microbiology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/S12866-023-02908-8>
- Ngo, H. H. T., Nguyen-Thanh, L., Pham-Duc, P., Dang-Xuan, S., Le-Thi, H., Denis-Robichaud, J., Nguyen-Viet, H., Le, T. T. H., Grace, D., & Unger, F. (2021). Microbial contamination and associated risk factors in retailed pork from key value chains in Northern Vietnam. *International Journal of Food Microbiology*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109163>
- Oliulla, H., Mizan, M. F. R., Kang, I., & Ha, S. do. (2024). On-going issues regarding biofilm formation in meat and meat products: challenges and future perspectives. *Poultry Science*, 103(12). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104373>
- Ortiz, S., López-Alonso, V., Rodríguez, P., & Martínez-Suárez, J. v. (2015). The Connection between Persistent, Disinfectant-Resistant *Listeria monocytogenes* Strains from Two Geographically Separate Iberian Pork Processing Plants: Evidence from Comparative Genome Analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(1), 308–317. <https://doi.org/10.1128/AEM.02824-15>
- Rajan, K., Shi, Z., & Ricke, S. C. (2017). Current aspects of *Salmonella* contamination in the US poultry production chain and the potential application of risk strategies in understanding emerging hazards. *Critical Reviews in Microbiology*, 43(3), 370–392. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2016.1223600>
- Revelou, P. K., Tsakali, E., Batrinou, A., & Strati, I. F. (2025). Applications of Machine Learning in Food Safety and HACCP Monitoring of Animal-Source Foods. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 922, 14(6), 922. <https://doi.org/10.3390/FOODS14060922>
- Rincón-Gamboa, S. M., Poutou-Piñales, R. A., & Carrascal-Camacho, A. K. (2021). Analysis of the assessment of antimicrobial susceptibility. Non-typhoid *Salmonella* in meat and meat products as model (systematic review). *BMC Microbiology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/S12866-021-02268-1>
- Rincón-Gamboa, S. M., Poutou-Piñales, R. A., & Carrascal-Camacho, A. K. (2024). Distribution of *Listeria* spp., and *Listeria monocytogenes* in micro- and small-scale meat product processing plants. *Heliyon*, 10(7), e28662. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E28662>
- Sánchez-Serrano, S., Pedraza-Navarro, I., & Donoso-González, M. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA? Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 74(3), 51–66. <https://doi.org/10.13042/BORDON.2022.95090>

- Serhan, M., Hourieh, H., el Deghel, M., & Serhan, C. (2024). Hygienic sanitary risk and microbiological quality of meat and meat-contact surfaces in traditional butcher shops and retail establishments- lessons from a developing country. *International Journal of Environmental Health Research*, 34(1), 600–610. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2161487>
- Shilenge, L. B., Shale, K., Matodzi, T., Machete, F., & Tshelane, C. (2017). A review of microbial hazards associated with meat processing in butcheries. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 9(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/20421338.2016.1219485>
- Sohaib, M., Anjum, F. M., Arshad, M. S., & Rahman, U. U. (2015). Postharvest intervention technologies for safety enhancement of meat and meat based products; a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 19. <https://doi.org/10.1007/S13197-015-1985-Y>
- Ssemanda, J. N., den Besten, H. M. W., Dione, M. M., Amenu, K., Knight-Jones, T. J. D., Zwietering, M. H., & van Wagenberg, C. P. A. (2025). Cost-effectiveness of interventions toward improving microbial food safety of chicken meat along supply chains in Burkina Faso and Ethiopia. *International Journal of Food Microbiology*, 431. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111086>
- Thaivalappil, A., Jung, J., Sekercioglu, F., & Young, I. (2025). Factors influencing food safety and good manufacturing practices in ready-to-eat meat processing plants in Ontario, Canada: A qualitative study. *Food and Humanity*, 4, 100538. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2025.100538>
- The European Union One Health 2023 Zoonoses report. (2024). *EFSA Journal*, 22(12). <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2024.9106>
- Varela, Z. S., Lavalle, L. P., & Alvarado, D. E. (2016). Bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos: una mirada en Colombia. *Revista Salud Uninorte*, 32(1), 105–122. <https://doi.org/10.14482/SUN.32.1.8598>
- Vikram, A., Woolston, J., & Sulakvelidze, A. (2021). Phage Biocontrol Applications in Food Production and Processing. *Current Issues in Molecular Biology*, 40, 267–302. <https://doi.org/10.21775/CIMB.040.267>
- Villalpando-Guzmán, S., Vázquez-Quiñones, C. R., Natividad-Bonifacio, I., Curiel-Quesada, E., Quiñones-Ramírez, E. I., Vázquez-Salinas, C., Villalpando-Guzmán, S., Vázquez-Quiñones, C. R., Natividad-Bonifacio, I., Curiel-Quesada, E., Quiñones-Ramírez, E. I., & Vázquez-Salinas, C. (2017). Frecuencia, susceptibilidad antimicrobiana y patrón de adherencia de Salmonella enterica aislada de carne de pollo, res y cerdo de la Ciudad de México. *Revista Chilena de Infectología*, 34(5), 458–466. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182017000500458>
- Wang, R. (2019). Biofilms and meat safety: A mini-review. *Journal of Food Protection*, 82(1), 120–127. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-311>
- Warmate, D., & Onarinde, B. A. (2023). Food safety incidents in the red meat industry: A review of foodborne disease outbreaks linked to the consumption of red meat and its products, 1991 to 2021. *International Journal of Food Microbiology*, 398. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110240>
- Williams, M. S., Ebel, E. D., & Nyirabahizi, E. (2021). Comparative history of Campylobacter contamination on chicken meat and campylobacteriosis cases in the United States: 1994–2018. *International Journal of Food Microbiology*, 342, 109075. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2021.109075>
- Yepes-Nuñez, J. J., Urrútia, G., Romero-García, M., & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2021.06.016>
- Zwirzitz, B., Wetzels, S. U., Dixon, E. D., Fleischmann, S., Selberherr, E., Thalgueter, S., Quijada, N. M., Dzieciol, M., Wagner, M., & Stessl, B. (2021). Co-Occurrence of Listeria spp. and Spoilage Associated Microbiota During

Meat Processing Due to Cross-Contamination Events. *Frontiers in Microbiology*, 12.
<https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.632935>