



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“*Salmonella* spp. un patógeno de riesgo en la
calidad e inocuidad de alimentos de origen
animal”**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:

SANDRA EDITH PADILLA ALMARAZ

ASESORES:

Dr. BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA

Dr. CÉSAR ORTEGA SANTANA

Dr. JUAN EDREI SÁNCHEZ TORRES



Toluca, México, Abril de 2024.

**“*Salmonella* spp. un patógeno de riesgo en la
calidad e inocuidad de alimentos de origen
animal”**

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
JUSTIFICACIÓN.....	10
OBJETIVO	11
MATERIAL.....	12
MÉTODO	13
Capítulo 1. Generalidades del género <i>Salmonella</i> spp.....	14
Capítulo 2. Epidemiología y presentación de infección por <i>Salmonella</i> spp.	17
Capítulo 3. Calidad microbiológica de la carne.....	28
Capítulo 4. Contaminación de la carne de ave, del huevo y de carne de cerdo por <i>Salmonella</i> spp.	34
LÍMITE DE ESPACIO	41
LÍMITE DE TIEMPO.....	42
CONCLUSIONES.....	43
LITERATURA CITADA	44

ÍNDICE DE CUADROS

1. Composición química de carne de diferente especie (en 100 g de fracción comestible)	31
--	----

RESUMEN

***Salmonella* spp. un patógeno de riesgo en la calidad e inocuidad de alimentos de origen animal.** Sandra Edith Padilla Almaraz (bajo la asesoría del Dr. Benjamín Valladares Carranza, Dr. Cesar Ortega Santana y Dr. Juan Edrei Sánchez Torres).

El objetivo de este trabajo fue conjuntar información sobre el riesgo de contaminación alimenticia por *Salmonella* spp y considerar los riesgos hacia los consumidores, así como de los centros de producción animal, manejo y comercialización de productos alimenticios para su atención, prevención y control. En el análisis de la información, se consideró: las generalidades de *Salmonella* spp. (capítulo 1); la epidemiología y presentación de infección por *Salmonella* spp. (capítulo 2); la calidad microbiológica de la carne (capítulo 3), y la contaminación de la carne de ave, de cerdo, y del huevo por *Salmonella* spp. (capítulo 4). *Salmonella* spp. es un bacilo Gram negativo (-), anaerobio facultativo, en forma de bastón, de la familia *Enterobacteriaceae*, y móvil mediante flagelos. Su clasificación incluye seis subespecies, *S. entérica* subsp. *entérica* es la más común y responsable del 99% de las infecciones en humanos y animales. *Salmonella* se clasifica en serotipos basados en antígenos somáticos (O), capsulares (K) y flagelares (H). Algunos serotipos están asociados a ciertos hospederos y pueden ser mortales en humanos. Los serotipos *enteritidis* y *typhimurium* son comunes en la transmisión animal-humano ocurriendo por vía fecal-oral, a través de alimentos contaminados (y agua), contacto directo con animales infectados y por fómites. La bacteria entra al organismo a través del tracto digestivo, adhiriéndose a las células del intestino delgado y provoca síntomas como fiebre, diarrea, calambres abdominales, náuseas y vómitos. Se destaca la importancia de la prevención mediante prácticas de higiene, preparación adecuada de alimentos e higiene después de manipular animales. Debido a los problemas de resistencia a los antibióticos de *Salmonella*, se resalta la necesidad de explorar alternativas al uso de antibióticos, como el desarrollo de vacunas, para mitigar los riesgos asociados con la resistencia microbiana, además de la aplicación de estrategias de control y prevención (programas de vigilancia epidemiológica y prácticas de manejo en la industria alimentaria), y se plantean brotes de salmonelosis en diferentes contextos, con datos sobre su incidencia y mortalidad. Adicionalmente, se considera la composición química de la carne, así como de su análisis en términos de contenido microbiano y características físicas, se describen los cambios bioquímicos que experimenta la carne. Se analiza las propiedades nutricionales y los aspectos cualitativos de la carne, y se aborda la importancia del color como indicador de calidad para los consumidores. Y al final se trata acerca de la contaminación por *Salmonella* spp. de la carne de ave y cerdo, y del huevo. En donde se plantea que la contaminación en aves y productos avícolas es frecuente (ave un reservorio importante). Se destaca la prevalencia de *Salmonella* en aves y ganado, así como su impacto en la salud pública; la resistencia antimicrobiana como una preocupación importante en la producción avícola y porcina, con recomendaciones para abordar estos desafíos. En cuanto a la carne de cerdo, también considerado un reservorio importante de

Salmonella, de cómo la contaminación puede ocurrir durante el proceso de sacrificio y procesamiento, los factores que contribuyen a la contaminación, y las medidas de control para reducir su presencia. La contaminación por *Salmonella* en la carne de ave, cerdo, y huevo representa un riesgo para la salud pública y requiere medidas efectivas de control y prevención en todas las etapas de la cadena alimentaria para minimizar su impacto en la salud humana.

Palabras clave: *Salmonella*, inocuidad alimentaria, carne de ave, cerdo, huevo, salud pública.

INTRODUCCIÓN

La FAO (2018), ha puesto de manifiesto el imprescindible papel de los alimentos de origen animal durante las etapas clave de la vida del humano; así, la carne y sus distintos productos derivados contienen importantes niveles de proteínas, vitaminas, minerales y micronutrientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las personas, por lo que, el aprovisionamiento y consumo de carne de las diferentes especies para abasto (de res, cerdo, ovino, caprino y de aves entre otras) aporta proteínas de alto valor biológico y vitaminas, principalmente del grupo B (como la B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B6 (piridoxina), y B12 (cianocobalamina)) y Vitamina A. Además de contener minerales como el hierro, cobre, zinc y selenio entre otros. El hierro es considerado de gran importancia por tener una elevada biodisponibilidad de integrarse al organismo, también la carne cuenta con ácidos grasos, que al igual que las proteínas son indispensables para la vida (Consejo Mexicano de la Carne, 2015).

Existen ciertos factores nutricionales, de inocuidad alimentaria y éticos, los cuales dañan la imagen de la carne, la calidad y sus distintas propiedades nutricionales, impidiendo que esta tenga una percepción deseada debido a la calidad nutricional. Donde aquellos principios éticos tienden a estar relacionados con el bienestar animal y la calidad del suelo, entre otros, perjudicando a las nuevas generaciones y como tal puede llevar a disminuir su consumo. Por lo que es de gran importancia el manejo y la alimentación que se le dé a los animales para abasto (García, 2002). Las principales causas de disminución de vida útil de los alimentos son la pérdida de calidad sensorial causada por microorganismos y el crecimiento de patógenos a niveles detectables. La población microbiana de los productos cárnicos refrigerados está conformada por una gran cantidad de especies de bacterias. Por lo general, durante su elaboración, estos productos son sometidos a diversos procesos que disminuyen la carga y variedad inicial de microorganismos con lo que se incrementa la vida útil del producto. Como ejemplo es que, se utilizan tratamientos térmicos

moderados, agentes antimicrobianos y el almacenamiento en refrigeración para controlar el crecimiento microbiano. Bajo este escenario, los microorganismos que logren sobrevivir y que presenten las mejores ventajas competitivas, son los que predominarán en el producto hasta llegar al consumidor (Consejo Mexicano de la Carne, 2015; Velázquez-Ordoñez *et al.*, 2019).

Ciertos alimentos son identificados con mayor frecuencia como causantes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs). Este es el caso de los productos cárnicos, donde se incluyen carne de res, puerco, pavo, pollo, jamones y salchichas, a los cuales en EE. UU. (Estados Unidos de Norteamérica), se les atribuyó el 14 % del total de los casos de ETAs reportados entre los años de 1983 y 1988. Y en donde destacan los principales patógenos en productos cárnicos refrigerados *Salmonella spp*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* y *Bacillus cereus* asociados a productos pasteurizados y refrigerados; y *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Shigella flexineri* y *Escherichia coli* O157:H7 que son frecuentes en productos cárnicos (Crowley *et al.*, 2013).

Por otra parte, los animales domésticos son los mayores reservorios de *Salmonella*, siendo la producción de carnes y sus derivados los vehículos más frecuentemente asociados con brotes de salmonelosis transmitida por alimentos. Desde la década de 1990, en México se ha identificado a *Salmonella* en un 42.76% de alimentos de origen animal, principalmente en carne de cerdo, res y pollo, seguido de chorizo, longaniza y cecina. En el año 2005, se detectó un bajo porcentaje (0.25%) de *Salmonella enteritidis* en la yema de huevo, lo cual es significativo, ya que en México el huevo es un componente esencial de la canasta básica y su contaminación representa un riesgo importante para la salud pública. Otra fuente destacada de *Salmonella spp.* son los productos marinos, que a menudo se consumen en estado crudo. La diversidad de serotipos de *Salmonella* encontrados en ceviche de pescado, almejas y moluscos vendidos tanto en establecimientos fijos como

ambulantes indica una mayor incidencia de este patógeno durante las estaciones más cálidas (Contreras-Soto, 2019).

La carne y sus derivados en razón a su riqueza nutritiva fundamentada principalmente en su contenido proteico, actividad acuosa y pH favorecen al crecimiento, descomposición y contaminación microbiana, por lo que la convierten en un vehículo frente a las enfermedades transmitidas por los alimentos. Se puede afirmar que una de las principales causas en las ETAs proviene de las deficiencias en el control de la contaminación cruzada durante los procesos de transformación de alimentos, y en el caso particular de la carne, el desposte es una fase determinante para evitar la contaminación cruzada, debido a la manipulación requerida y el contacto del producto con diversas superficies, condición que amerita el monitoreo, control y aplicación de medidas cuando se evidencien los fenómenos de contaminación (SSA, 1984 y 1988; NOM-114-SSA1-1994).

Por lo que, con el objetivo de conjuntar información sobre el riesgo de contaminación alimenticia en carne de ave y cerdo, así como en huevo por *Salmonella* spp y pueda ser considerado en atención a los consumidores, así como a los centros de producción animal, manejo y comercialización de productos alimenticios para su prevención y control.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las intoxicaciones alimentarias se producen por la ingestión de alimentos o bebidas contaminados. Diversos microorganismos pueden contaminar los alimentos y provocar alteraciones patológicas en los consumidores en diferente grado. Existen muchos tipos de intoxicación alimentaria, la mayoría de las cuales son infecciones causadas por bacterias, virus o parásitos; otros son los envenenamientos provocados por toxinas (SSA, 1984 y 1988; Anderson, 2005).

La carne cruda pertenece al grupo de los alimentos frescos por su contenido nutricional y alto valor de actividad de agua (A_w) entre 0,98 y 0,99, al igual que la mayoría de los productos elaborados con ella. Los tipos de microorganismos varían dependiendo de las características específicas de los diferentes tipos de carne. Los alimentos preparados a partir de carne son susceptibles a la contaminación y proporcionan las condiciones necesarias para el crecimiento de los microorganismos responsables de las intoxicaciones alimentarias. Es importante recalcar que los microorganismos se multiplican rápidamente a temperaturas superiores a la de refrigeración, especialmente en alimentos frescos (Restrepo *et al.*, 2001).

Salmonella spp. es un microorganismo patógeno zoonótico perteneciente al grupo de enterobacterias, bacilo Gram negativo (-), aerobio, no esporulado que forma colonias típicas y atípicas en medios selectivos sólidos y que presenta además las características bioquímicas y serológicas con las que se ha identificado en el laboratorio. La salmonelosis es una infección de importancia en salud pública, debido al impacto socioeconómico que ocasiona en todos los países, es una enfermedad transmitida por los alimentos, afectando a grandes poblaciones en México, puede afectar a todo individuo en cualquier fase etaria, pero con mayores incidencias en los extremos de la vida (niños y adultos mayores) (Torres-Vitela *et al.*, 2012).

En México la gravedad e impacto que tiene esta enfermedad radica en la alta

incidencia de casi 6,330 casos de cuadros gástricos por ingestión de alimentos contaminados; en donde un alimento con alto riesgo se considera a aquellos que se encuentran listos para consumo bajo condiciones favorables en tiempo, de temperatura y humedad, y que pueden experimentar su desarrollo; algunos ejemplos de estos alimentos son: quesos, cremas, carnes de ave y bovino, huevo crudo o alimentos parcialmente cocidos, así como también pescados y mariscos. Hasta el año 2005 se habían descritos 2,523 serotipos diferentes de *Salmonella*, lo que ha llevado al interés por conocer cuáles son los serotipos que prevalecen y con ello conocer la resistencia a los antibióticos usados en los servicios de salud (Torres-Vitela *et al.*, 2012).

Salmonella spp. es una bacteria que vive principalmente en el tracto digestivo, particularmente en la porción intestinal de muchos animales incluidos pájaros, bovinos, mascotas y humanos. Entra al ambiente en el cual se desarrollan las diferentes especies animales (instalaciones, corrales o incluso en los lugares en donde se sacrifican y procesan los productos y subproductos cárnicos), y cuando se excreta en las heces presenta una viabilidad en los materiales con los que entran en contacto y puede sobrevivir, e incluso reproducirse en condiciones favorables. De este modo, diversos lugares se convierten en reservorios de bacterias extraintestinales y pueden provocar la contaminación de los alimentos (Crowley *et al.*, 2013).

Se han determinado diversas fuentes de contaminación al aislamiento de *Salmonella* las cuales han sido a partir de agua, suelo, fómites, plantas, ganado para abasto (cerdos, vacas, caballos y aves), fauna silvestre, animales acuáticos, mejillones y animales dañinos como moscas y roedores, e incluso el mismo humano. La temperatura mínima de crecimiento de *Salmonella* es de 6°C, la temperatura máxima es de 46°C y la temperatura óptima es de 35-37°C. Su tasa de crecimiento comienza a disminuir significativamente a temperaturas inferiores a 20 °C y disminuye con el enfriamiento hasta detenerse de 5 a 6 °C. El valor de pH

desarrollado es de al menos 3.8, óptimamente 7.0 y máximo 9.0. La actividad máxima del agua para un brote de *Salmonella* es 0.94 (Fernández-Escartín, 2008; Winn *et al.*, 2008).

La salmonelosis se presenta como una infección gastrointestinal que surge tras la ingesta de agua y alimentos contaminados con bacterias del género *Salmonella* spp., las cuales provocan enterocolitis. A pesar de que las infecciones suelen ser agudas y autolimitadas, es crucial realizar esfuerzos para prevenir este problema de interés para la salud pública a nivel mundial. *Salmonella* spp. se encuentra en diversos entornos y especies animales, destacando la carne obtenida de la producción animal como una de las principales vías de infección en los humanos. Esto subraya la importancia de investigaciones enfocadas en la calidad microbiológica y la seguridad alimentaria (Porto *et al.*, 2023).

La carga de las enfermedades transmitidas por alimentos es significativa según la Organización Mundial de la Salud. Anualmente, alrededor de una de cada diez personas contrae este tipo de enfermedades, lo que resulta en una pérdida de 33 millones de años de vida saludable. Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs), pueden ser especialmente graves cuando afectan a niños. Las enfermedades diarreicas, causadas principalmente por alimentos no seguros, afectan a 550 millones de personas cada año, incluyendo a 220 millones de niños menores de 5 años. A nivel mundial, la *Salmonella* spp. es una de las cuatro principales causas de las enfermedades diarreicas (OMS, 2018).

***Salmonella* spp. en diferente ambiente**

La aparición de casos de salmonelosis no tifoidea en humanos ha estado tradicionalmente vinculada al consumo de productos de origen animal contaminados con *Salmonella* spp. Sin embargo, en los últimos años, la ocurrencia y aumento en el número de brotes se ha asociado con el consumo de productos frescos, como verduras y algunas frutas, entre otros alimentos. La excreción de patógenos entéricos de animales portadores es la principal ruta de liberación hacia el ambiente;

estos desechos pueden contaminar cuerpos de agua (ríos, lagos y otros humedales), de varias maneras, ya sea mediante la deposición directa en el agua, el arrastre debido a precipitaciones o actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería. Además, la liberación de *Salmonella* spp. a través de desembocaduras de drenajes provenientes de ciudades u otros asentamientos humanos también puede contribuir a la contaminación del agua. Por lo tanto, el agua se considera un importante vehículo para la dispersión de *Salmonella* spp. en el ambiente, y esta comprensión es esencial para implementar medidas de prevención, y control destinadas a reducir la contaminación y minimizar los riesgos asociados con la transmisión de esta bacteria a través del agua (Porto *et al.*, 2023).

La falta de tratamiento del agua de irrigación y la presencia de compostas en los suelos se identifican como las principales fuentes de contaminación que pueden resultar en la pérdida de seguridad alimentaria. El agua, en este contexto, actúa como un medio que tiene el potencial de intensificar la contaminación en puntos específicos y propiciar una amplia dispersión de *Salmonella* spp. La detección de *Salmonella* spp. en el agua de riego se relaciona con diversas prácticas agrícolas y de manufactura deficientes, lo que aumenta la posibilidad de contaminar los alimentos desde su producción en el campo hasta su empaque. Estudios sobre la seguridad de melones, chiles, tomates y cilantro en estados como Coahuila, Michoacán, Guerrero, Sinaloa y Sonora coinciden en señalar que el agua de riego sirve como vector de contaminación por *Salmonella* spp. La variedad de serotipos se atribuye a la exposición al aire libre de los cuerpos de agua, que incorporan especies de *Salmonella* spp. de diversas fuentes, como aguas residuales (tanto industriales como domésticas), heces de animales silvestres (mamíferos, reptiles y aves), así como eventos de inundaciones que favorecen procesos benéficos para este microorganismo (Contreras-Soto, 2019).

En México, los serotipos más comunes de *Salmonella* aislados de agua, suelo de cultivo y superficies de empaques son *oranienburg*, *typhimurium*, *saintpaul*, *anatum* y *give*, de los cuales las principales fuentes de aislamiento son agua de río, canales

de riego y arroyos. La capacidad de la que depende *Salmonella* spp. para sobrevivir es la flexibilidad metabólica, se ha mostrado que una vez que el patógeno ingresa a un cuerpo de agua, no tiene limitantes en cuanto a la falta ni el tipo de fuentes de carbono disponibles. Los serotipos de *Salmonella* spp. adquiridos clínicamente se adaptan fácilmente al consumo de múltiples fuentes de carbono (Contreras-Soto, 2019).

Los serotipos ambientales tienen una mayor actividad metabólica pero una diversidad limitada de fuentes de carbono; también se han observado excelentes resultados en ensayos de adhesión, invasión y viabilidad celular de células epiteliales, demostrando su mayor capacidad patogénica. Estos hallazgos sugieren que la investigación y vigilancia de *Salmonella* spp. no deben limitarse a serotipos específicos de origen humano. Por otro lado, los estudios de genómica comparativos entre aislados de *Salmonella* obtenidos de aguas superficiales y muestras fecales de ganado asintomático han mostrado poca diversidad genética entre diferentes aislados, lo que sugiere una estrecha relación entre los aislados. Hay evidencia de que los animales son una fuente importante de contaminación de los cuerpos de agua y, a su vez, ayudan a propagar la bacteria a nuevos hospederos (Contreras-Soto, 2019).

El riego con agua contaminada por *Salmonella* ha sido vinculado a brotes epidemiológicos de enfermedad entérica, posiblemente como resultado de procesos de desinfección ineficientes y prácticas higiénicas inadecuadas tanto en el campo como en el empaque de alimentos. En México, se ha identificado *Salmonella* spp. en una variedad de vegetales crudos y procesados, incluyendo lechuga, cilantro, melón cantaloupe, chile, tomate, germinado de frijol, perejil, brócoli, coliflor, espinaca, ensalada de frutas, salsas para tacos, tortillas de maíz, jugo de betabel fresco, entre otros. En particular, el melón, el perejil y el cilantro mostraron las concentraciones más altas de *Salmonella* spp., y los serotipos más prevalentes fueron *typhimurium*, *arizonae*, *choleraesuis* y *enteritidis*. Información que coincide con investigaciones de brotes en Estados Unidos, donde el 11% de los casos fueron

atribuidos a los serotipos de *Salmonella enteritidis* y *typhimurium*. Los alimentos más comúnmente asociados con estos brotes fueron los vegetales de hojas frescas. Además, en México también han reportado brotes de *Salmonella* relacionados con productos frescos como papaya, pepino, melón, mango y tomate (Contreras-Soto, 2019).

A lo largo de más de cincuenta años en México, se ha registrado la presencia de *Salmonella* spp. en animales. Los animales se posicionan como la segunda fuente más común de aislamiento de la bacteria, representando el 23.42% del total; el ganado vacuno encabezó esta categoría con un 10.14% de prevalencia, seguido de las aves de corral con un 5.63%, y los cerdos con un 3.38%. Otras especies, como ovejas, perros, cucarachas americanas e iguanas, presentaron prevalencias más bajas, con porcentajes del 2.02%, 0.56%, 0.33% y 0.11%, respectivamente. Los principales serotipos identificados fueron *oranienburg*, *anatum*, *arizonae* y *typhimurium* (Contreras-Soto, 2019).

Así, la infección por *Salmonella* spp. en el humano, generalmente se produce tras la ingestión de alimentos o agua contaminados. Aunque los serotipos hospedero-específicos, como *typhi* y *paratyphi*, son los principales responsables de la enfermedad, aunque, las infecciones en humanos no se limitan exclusivamente a estos serotipos. En la vigilancia epidemiológica de brotes por salmonelosis en México, se ha observado un aumento sostenido en los casos de fiebre tifoidea, mientras que la fiebre paratifoidea y otras salmonelosis han mantenido niveles constantes, aproximadamente alrededor de 100,000 casos por año durante la última década. Sin embargo, estos datos podrían ser más elevados si se registraran todos los eventos relacionados con estos padecimientos (Contreras-Soto 2019).

JUSTIFICACIÓN

Debido a que en los diferentes sistemas de producción animal, así como en diferentes ambientes la existencia y el microbismo ambiental que prevalece en muchos casos pone en riesgo tanto a las diferentes especies animales para abasto, así como al mismo hombre a infecciones que en forma directa o indirecta manifiestan diferentes afecciones o patologías que pueden ocasionar problemas graves e incluso la muerte, resulta de interés y es necesario revisar y analizar información que documente cuales son las características particulares en la que se puede considerar particularmente la afección por *Salmonella* spp. en carne de ave y cerdo, así como en huevo “reservorios” en donde más comúnmente se ha podido determinar, todo ello para su consideración y atención en los diferentes sitios en donde es más probable encontrar a esta bacteria, así mismo sirva al sector salud y a los interesados a mejorar las condiciones de saneamiento ambiental en donde el patógeno pueda prevalecer.

Las diferentes toxicoinfecciones alimentarias provocadas por una gran variedad de bacterias pone de manifiesto la necesidad de documentar y establecer de forma más pertinente las medidas de prevención y control, y que para el caso de *Salmonella* spp. resulta importante considerar que el reporte mundial de las infecciones alimentarias por este patógeno como uno de los más comúnmente reportados, en donde por resistencia a los antibióticos de la misma bacteria, así como factores de patogenicidad la hacen un reto de poder controlar de manera eficaz; así como considerar que al igual que sucede con otro tipo de agentes microbianos el costo por tratamiento a la población y los decesos que en muchas veces ocasiona, por lo que se requiere de estudios o reportes para considerar las medidas que mitiguen su presentación en la población animal, salud ambiental y salud humana.

OBJETIVO

Realizar una revisión bibliográfica sistemática sobre la contaminación alimentaria (carne de ave y cerdo, y de huevo) por *Salmonella* spp. a fin de conocer las implicaciones en inocuidad alimentaria y su impacto en salud pública.

MATERIAL

Para la elaboración de este trabajo se realizó una revisión bibliográfica sistemática de información obtenida de:

- Artículos de revistas científicas e información de internet y base de datos, como: PubMed, Science Direct, BlackWell Synergy, Springer Link, BMC, SciELO e ISI Web of Knowledge.
- Libros.
- Memorias de congresos y reuniones de investigación.

Se utilizó equipo de cómputo: computadora e impresora; USB, hojas, lápices y bolígrafos.

MÉTODO

El trabajo consistió en una recopilación y selección de información sobre contaminación de la carne por *Salmonella* spp, disponible en español e inglés obtenida a través de buscadores tales como: PubMed, Science Direct, BlackWell Synergy, Springer Link, BMC, SciELO e ISI Web of Knowledge.

Los principales descriptores de interés como estrategia de búsqueda fueron: contaminación de alimentos (carne (cerdo y ave), y huevo) por *Salmonella* spp; con los operadores booleanos utilizados and y or.

En la utilización de la información consultada se dio pauta a aquellos artículos, libros, memorias de congresos relacionados con contaminación de los alimentos por *Salmonella* spp, otorgando la importancia a las publicaciones más recientes disponibles en red, así como de libros digitales.

Una vez seleccionada, se realizó un análisis de la información para organizarla en capítulos que integraran el trabajo, los cuales son:

Capítulo 1. **Generalidades de *Salmonella* spp.**

Capítulo 2. **Epidemiología y presentación de infección por *Salmonella* spp.**

Capítulo 3. **Calidad microbiológica de la carne**

Capítulo 4. **Contaminación de la carne de ave, del huevo y de carne de cerdo por *Salmonella* spp.**

Capítulo 1. Generalidades del género *Salmonella* spp.

Salmonella bacilo Gram negativo (-), mide 0,2-1,5×2-5 µm, anaerobio facultativo, con forma de bastón de la familia *Enterobacteriaceae*. Con la excepción de SG y SP, los miembros del género *Salmonella* son móviles mediante flagelos. Los miembros de este género tienen la capacidad de metabolizar nutrientes por vías respiratorias y fermentativas denominadas quimioorganotróficas. La mayoría de los serovares de *Salmonella* producen sulfuro de hidrógeno con la excepción de unos pocos serovares como *S. paratyphi* A y *S. choleraesuis*. La mayoría de los miembros del género no fermentan la lactosa. Esta importante propiedad única se ha utilizado para el desarrollo de una variedad de medios selectivos y diferenciales para su cultivo, aislamiento e identificación, como: agar *Salmonella-Shigella*, agar verde brillante, agar xilosa lisina desoxicolato, agar entérico Hektoen, agar MacConkey, agar lisina hierro y agar hierro triple azúcar (Davis *et al.*, 1990; Jawetz *et al.*, 1992; John y Catherine, 1998).

De acuerdo con Reeves *et al.* (1989), ha referido que, sobre la base de las propiedades bioquímicas y la relación genómica, *Salmonella entérica* se clasifica en seis subespecies; estas subespecies en la nomenclatura se indican con números romanos: I. *S. entérica* subsp. *entérica*; II. *S. entérica* subsp. *salamae*; III. *S. entérica* subsp. *arizonae*; IIIa. *S. entérica* subsp. *diarizonae*; IV. *S. entérica* subsp. *houtenae*; y V. *S. entérica* subsp. *indica*. De todas las subespecies de *Salmonella*, la *S. entérica* subsp. *entérica* (I) es la más común y predominantemente se encuentra asociada con mamíferos y se atribuye alrededor del 99% de las infecciones por *Salmonella* en humanos y animales de sangre caliente.

En el trabajo de Brenner *et al.* (2000), cita los estudios realizados por Kauffman (1941), y White (1925), en donde se aprecia otro sistema de separación de *Salmonella*, además de la clasificación de subespecies basada en la filogenia. Esquema que clasifica *Salmonella* en serotipos sobre la base de tres determinantes

antigénicos principales, incluidos somáticos (O), capsulares (K) y flagelos (H). El antígeno somático (O) se encuentra en la membrana celular bacteriana externa, es termoestable y forma el componente oligosacárido del lipopolisacárido (LPS) de las células bacterianas. Un serotipo de *Salmonella* específico podría expresar más de un antígeno O. Los antígenos H termolábiles participan en la activación de las respuestas inmunitarias del hospedero y se encuentran principalmente en los flagelos bacterianos. La mayoría de *Salmonella* spp. Poseía dos genes diferentes, que codifican las proteínas flagelares. Estas bacterias podrían ser difásicas (fase I y II), al poseer la capacidad única de expresar sólo una proteína a la vez. Los antígenos de fase IH que son responsables de la identidad inmunológica podrían expresarse en algunos serotipos, mientras que los antígenos de fase II son antígenos no específicos y podrían encontrarse en muchos otros serotipos (McQuiston, 2004).

Brenner *et al.* (2000), refiere que los antígenos K de superficie rara vez se encuentran entre la mayoría de los serotipos de *Salmonella* y son polisacáridos sensibles al calor ubicados principalmente en la superficie capsular. Los antígenos de virulencia (Vi), un subtipo del antígeno K, se encuentran sólo en los serotipos *paratyphi C*, *dublin* y *typhi*. “Serovar”, un término sinónimo de serotipo, se ha utilizado comúnmente en la literatura. Generalmente se omite la subespecie al nombrar un serotipo de *Salmonella* en particular. *S. entérica* subespecie *entérica* serotipo *typhi* normalmente se abrevia como *Salmonella ser. typhi* o *S. typhi* en la literatura. Se han identificado más de 2500 serotipos (cada uno con una combinación única de antígenos somáticos O y flagelares H 1 y H 2), de los cuales >50% de estos serotipos pertenecen a la subespecie *S. entérica*. Estos serotipos representan la mayoría de las infecciones por *Salmonella* en humanos.

El aislamiento de *Salmonella* a partir de hisopos, alimentos y otras muestras ambientales utilizando el método de cultivo tradicional o convencional implica múltiples pasos de pre-enriquecimiento, enriquecimiento selectivo y crecimiento en

medios selectivos y diferenciales con el fin de mejorar la sensibilidad de los métodos de detección. En los EE. UU., la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, la Agencia de Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), el Servicio de Inspección y Seguridad Alimentaria del Departamento de Agricultura (USDA) y la Organización Internacional de Normalización (ISO) han estandarizado diferentes enfoques de enriquecimiento de *Salmonella* utilizando sus propiedades físicas bioquímicas únicas. El método estándar ISO actual, ISO 6579:2002, ha sido adoptado por muchos centros de referencia de *Salmonella* lo cual es similar a otros métodos de detección estándar. El cultivo típico de *Salmonella* que se ajusta a reacciones únicas se somete además a pruebas de identificación bioquímicas y serológicas (Brenner *et al.*, 2000).

Aunque todos los serotipos tienen la capacidad de inducir enfermedad en los humanos, algunos están particularmente vinculados a ciertos hospederos y pueden residir exclusivamente en una o en pocas especies animales. Por ejemplo, *Salmonella entérica* serotipo *dublin* afecta a bovinos, y *Salmonella entérica* serotipo *choleraesuis* se encuentra en porcinos. Cuando estos serotipos específicos ocasionan la enfermedad en el humano, tienden a ser invasivos y pueden tener consecuencias mortales (OMS, 2018).

De acuerdo con la OMS (2018), la mayoría de los serotipos se hallan en una amplia variedad de hospedadores. Generalmente, estos serotipos provocan gastroenteritis, una afección generalmente simple que no demanda tratamiento, aunque puede ser grave en niños, personas mayores y aquellos con sistemas inmunológicos debilitados; los dos serotipos importantes de *Salmonella* transmitida de animales a seres humanos en la mayor parte del mundo pertenecen *Salmonella enterica* serotipo *enteritidis* y *Salmonella entérica* serotipo *typhimurium*.

Capítulo 2. Epidemiología y presentación de infección por *Salmonella* spp.

Salmonella spp. se transmite principalmente a través de la vía fecal-oral, pero también puede transmitirse a través de alimentos y bebidas contaminadas, así como por contacto directo de portadores con animales y humanos. Estas bacterias son transportadas de manera asintomática en el intestino o la vesícula biliar de diversos animales y se excretan de forma continua o intermitente a través de las heces. También pueden permanecer de manera latente en los ganglios linfáticos mesentéricos o amígdalas, siendo reactivadas posteriormente tras eventos de estrés o inmunosupresión. Además, *Salmonella* puede propagarse a través de fómites y vectores mecánicos, como insectos. Los alimentos de origen animal como la carne de cerdo, pollo, ternera, leche y huevos suelen estar contaminados; por lo tanto, es importante asegurarse de que la carne esté bien cocida. *Salmonella* spp. también puede presentarse en las excretas de algunos perros, afectando así a los humanos que comúnmente tienen o se encuentran en contacto directo con estos animales. *Salmonella* spp. entra al organismo a través del tracto digestivo y se adhiere a las células epiteliales del intestino delgado. Para inducir la fagocitosis, las bacterias secretan toxinas en la célula y luego se multiplican en los fagosomas; destruyen las células hospedero y provocan síntomas como fiebre, diarrea, calambres abdominales, náuseas y vómitos. Si no se trata, la bacteria puede ingresar al torrente sanguíneo y afectar órganos como el hígado y a los huesos (Ahmad-Faris *et al.*, 2022).

El uso y la propagación de serotipos de *Salmonella* resistentes a los antibióticos es un problema mundial importante. Las características inherentes a los animales, humanos y ambientales interactúan y contribuyen directa o indirectamente a la rápida aparición y propagación de la resistencia de esta bacteria a los diferentes agentes antimicrobianos (Tsepo *et al.*, 2021).

Salmonella spp. también puede ser transmitida in útero en mamíferos. Los animales pueden adquirir la infección a través de la ingestión de agua o alimentos contaminados, incluyendo pasturas, o mediante el contacto con animales infectados, también puede incluir a los seres humanos. Las aves y roedores tienen la capacidad de propagar *Salmonella* al ganado bovino. Asimismo, los carnívoros pueden infectarse al consumir carne, huevos y otros productos de origen animal que no se han cocinado adecuadamente. Es común que los gatos contraigan *Salmonella typhimurium* al alimentarse de aves infectadas o estar cerca de comederos de pájaros. Las personas también pueden infectarse al consumir alimentos de origen animal contaminados, ya sea de manera directa o a través de alimentos y agua contaminados; en la mayoría de las ocasiones en infecciones humanas transmitidas directamente se adquieren a través de las heces de reptiles, pollitos y patitos. Las especies de *Salmonella* spp. tienen la capacidad de sobrevivir durante períodos prolongados en el entorno, especialmente en condiciones cálidas y húmedas. Pueden encontrarse en diversas fuentes, incluyendo los efluentes de las granjas, aguas residuales y agua. *Salmonella cholerae suis* puede permanecer aislada hasta por 450 días en carne porcina y durante varios meses en heces o aguas fecales. En el caso de *Salmonella typhimurium* y *Salmonella dublin*, se han identificado en el ambiente por más de un año (CFSPH, 2005).

Los episodios con una elevada tasa de incidencia y, en ocasiones, con un considerable índice de mortalidad, son característicos en rumiantes, cerdos y aves de corral jóvenes. En brotes de septicemia, los índices de incidencia y mortalidad pueden llegar a ser cercanos al 100%. En mamíferos y aves adultas que se encuentran en buen estado de salud y sin factores estresantes, la salmonelosis es poco frecuente, y generalmente se presentan casos esporádicos. La expresión clínica de *Salmonella* spp. suele ser asintomática; los signos de la enfermedad tienden a manifestarse cuando los animales experimentan situaciones estresantes, como el transporte, hacinamiento, falta de alimentos, destete, parto, exposición al frío, presencia de enfermedades virales o parasitarias concurrentes, cambios

bruscos en la dieta o sobrealimentación después de un período de ayuno (Alcober, 2022).

Los principales síndromes observados en el ganado (animales adultos y terneros mayores de una semana), son la enteritis y la septicemia; se caracteriza por una diarrea abundante, deshidratación, depresión, dolor abdominal y pérdida de apetito. Las heces son líquidas o pastosas, generalmente con un olor desagradable, y pueden contener moco, fragmentos de membrana mucosa, cilindros o sangre. Aunque la fiebre puede estar presente al inicio de la infección, suele desaparecer cuando se manifiesta la diarrea. En las vacas lecheras, la producción de leche disminuye abruptamente. La salmonelosis intestinal típicamente tiene una duración de 2 a 7 días y puede llevar a la muerte debido a deshidratación y toxemia (Antunes, 2016).

La enteritis crónica se presenta principalmente en terneros mayores, ganado bovino adulto y cerdos en crecimiento. Los síntomas pueden abarcar pérdida de peso gradual, fiebre intermitente y falta de apetito. Por lo general, las heces son escasas y pueden ser normales o contener moco, cilindros o sangre. En cerdos en crecimiento, puede desarrollarse estenosis rectal como consecuencia. La septicemia es el síndrome más frecuente en terneros jóvenes, corderos, potros y cerdos menores de 6 meses. Además, se puede observar marcada depresión, fiebre alta y, a menudo, fallecimiento en 1 a 2 días. En terneros y cerdos, es posible observar neumonía y signos de afectación del sistema nervioso central. Los cerdos también pueden mostrar una decoloración rojiza oscura o violeta en la piel, especialmente en las orejas y el abdomen ventral. En hembras preñadas, puede ocurrir el aborto, ya sea con o sin otros signos clínicos (CFSPH, 2005).

Desinfección. Las distintas especies de *Salmonella* spp. son sensibles a diversos desinfectantes, como el hipoclorito de sodio al 1%, al etanol al 70%, al glutaraldehído al 2%, desinfectantes a base de yodo, compuestos fenólicos y

formaldehído. La bacteria también se elimina cuando se expone a calor húmedo (a 121 °C durante al menos 15 minutos), o calor seco (entre 160 y 170 °C durante no menos de 1 hora). Para garantizar la eliminación de *Salmonella* en diferentes productos que habitualmente consume el humano, se recomienda cocinar productos cárnicos hasta que alcancen una temperatura interna de al menos 63°C, carne picada a 71°C, las presas de pollo a 77°C y el pollo entero a 82°C. Asimismo, la pasteurización de la leche a 71 °C durante 15 segundos también resulta efectiva para eliminarla (CDC, 2006).

Tratamiento. La salmonelosis en humanos puede ser tratada con varios antibióticos, como ampicilina, amoxicilina, gentamicina, trimetoprim-sulfametoxazol y fluoroquinolonas. Sin embargo, muchas cepas clínicas muestran resistencia a uno o más antibióticos, y la elección del medicamento debe basarse preferentemente en pruebas de sensibilidad. Los antibióticos son principalmente utilizados para tratar septicemia, fiebre intestinal o infecciones focalizadas fuera del intestino. En casos de infecciones focalizadas, puede ser necesario recurrir a cirugía y ciclos prolongados de antibióticos. En adultos mayores, niños menores de un año y personas inmunodeprimidas, que son más propensos a la septicemia y complicaciones, se pueden recetar medicamentos para tratar la gastroenteritis. No obstante, la mayoría de las personas sanas se recuperan espontáneamente en un período de 2 a 7 días y pueden no necesitar tratamiento antibiótico. Los antibióticos generalmente no acortan la duración de la enfermedad y, además, pueden prolongar el período de excreción bacteriana, así como fomentar el desarrollo de cepas resistentes a los antibióticos. En algunos casos, puede ser necesario proporcionar tratamiento sintomático para abordar la deshidratación, náuseas y vómitos (CFSPH, 2005).

Es importante señalar que el uso de antibióticos puede promover la persistencia de *Salmonella* spp. en el tracto digestivo (intestinos), después de la recuperación, afectar la flora intestinal y contribuir al desarrollo de cepas resistentes a los

antibióticos. Por estas razones, no se recomienda el uso de antibióticos para tratar enfermedades intestinales. En lugar de ello, se destaca la importancia de la reposición de fluidos, la corrección de desequilibrios electrolíticos y otros cuidados paliativos en los casos de enteritis (CFSPH, 2005).

Prevención. La probabilidad de introducir salmonelosis en un grupo de animales o aves puede reducirse al adquirir animales o huevos de proveedores libres de *Salmonella*, al aislar los animales recién adquiridos y al implementar un sistema de gestión de grupo que siga la estrategia de "Todo dentro - todo fuera". Es importante el control de plagas. Las fuentes de alimentos y agua deben estar exentas de *Salmonella*. En caso de un brote en el grupo de animales, es esencial identificar, aislar y tratar, o en su defecto, sacrificar a los animales portadores. Aquellos animales que hayan sido tratados deben someterse a exámenes repetidos para asegurar que ya no sean portadores de *Salmonella*. Es crucial evitar la contaminación fecal de las fuentes de agua y alimentos (CDC, 2006).

Es imprescindible realizar la limpieza y desinfección de las instalaciones y equipos, así como desechar el material contaminado. En ciertas situaciones, resulta difícil erradicar por completo las infecciones causadas por *Salmonella*, y la estrategia se centra en evitar el desarrollo de enfermedades clínicas y/o la transmisión de la bacteria a los seres humanos. La salmonelosis clínica puede disminuir mediante prácticas adecuadas de higiene y la minimización de situaciones estresantes. La administración de calostro desempeña una función crucial en la prevención de la enfermedad en los animales jóvenes (CFSPH, 2005).

Para reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos: Es importante evitar el consumir carnes y huevos crudos; no beber o ingerir productos lácteos sin pasteurizar; lavar bien las verduras crudas antes de consumirlas; mantener en refrigeración los alimentos; evitar la contaminación cruzada de los alimentos, las carnes crudas deben conservarse aparte de los alimentos cocidos y listos para

comer, se deben lavar bien las manos y los utensilios de cocina que estuvieron en contacto con los alimentos crudos y alimentos potencialmente contaminados; lavarse bien las manos antes de manipular alimentos. Para reducir el riesgo de adquirir salmonelosis de los animales. Es recomendable lavarse suficientemente bien las manos con agua caliente y jabón, inmediatamente después de estar en contacto con las heces de cualquier animal (enfermo o no); las personas inmunodeprimidas deben evitar el contacto con reptiles, pollos y patos. Deben tomar precauciones especiales al visitar granjas o zoológicos de mascotas. Con los reptiles, se deben tomar precauciones más estrictas por la excreción de *Salmonella* spp. en las excretas (CDC, 2006).

En la actualidad, no hay vacunas específicas para prevenir las salmonelosis zoonóticas o las transmitidas por alimentos en humanos. Sin embargo, es importante destacar que existe una vacuna para prevenir la fiebre tifoidea, infección que se transmite de persona a persona. La vacuna contra la fiebre tifoidea se administra para proteger contra *Salmonella typhi*, responsable de esta enfermedad. Aunque no hay una vacuna universal para todas las cepas de *Salmonella* se están realizando investigaciones continuas en el desarrollo de estrategias preventivas y vacunas para abordar específicamente esta problemática (CFSPH, 2005).

Es esencial lavarse las manos de manera completa e inmediata después de manipular reptiles, sus jaulas u otras superficies que hayan estado en contacto con ellos. Además, se recomienda cambiarse la ropa antes de entrar en contacto directo con niños, especialmente con aquellos menores de 10 años, ya que son más susceptibles a contraer salmonelosis grave. Estas prácticas ayudan a prevenir la transmisión de *Salmonella* spp. y son medidas preventivas fundamentales para mantener la higiene y la salud, especialmente en entornos donde hay reptiles presentes (CFSPH, 2005).

Morbilidad y mortalidad.

En 1972 y principios de 1973, la Ciudad de México se reportó una epidemia de fiebre tifoidea causada por *Salmonella typhi*, que se propagó rápidamente a áreas circundantes, afectando a más de 10,000 personas. Durante ese período, se reportaron dos brotes importantes relacionados con el consumo de alimentos contaminados. El primero ocurrió en un hospital, afectando a 155 personas infectadas con *S. enteritidis*, mientras que el segundo tuvo lugar en una prisión, donde 150 reclusos presentaron síntomas de enfermedad entérica, causados por *S. oranienburg*, en ambos casos, la fuente de la infección no pudo ser identificada.

Aunque los alimentos de origen animal se han identificado como la principal causa de brotes de *Salmonella*, la presencia de esta bacteria tanto en individuos sanos como enfermos puede convertir a los humanos en portadores y diseminadores, siendo responsables de la transmisión de la enfermedad. Esto se refleja al considerar a los humanos como la tercera fuente de aislamiento de *Salmonella* en México, con un 21.46%. Esta problemática destaca la necesidad de implementar programas de vigilancia continuos y más amplios para rastrear fuentes de contaminación, utilizando técnicas más sensibles y rápidas para la identificación de este y otros patógenos (Contreras-Soto 2019).

En los EE. UU. se registran aproximadamente entre 500 y 600 casos mortales de salmonelosis por año. Durante períodos de brotes, alrededor del 10% de todos los casos y el 18% de los casos en personas mayores resultan en enfermedades invasivas. Existe la posibilidad de que las infecciones por *Salmonella cholerae suis* tengan una tasa de mortalidad de hasta el 20%. En la población de mayores, la septicemia asociada a la *Salmonella dublin* presenta una tasa de mortalidad del 15%. En situaciones de brotes en entornos hospitalarios o clínicas, el índice de mortalidad para la *Salmonella enteritis* es aproximadamente del 3.6%. Es raro que la gastroenteritis por *Salmonella* resulte letal en individuos sanos (CFSPH, 2005) Después de consumir agua o alimentos contaminados o entrar en contacto con objetos contaminados, la bacteria inicia la infección del organismo. Comienza

adhiriéndose a las paredes del íleon y se reproduce hasta alcanzar una cantidad suficiente para infiltrarse en la pared, que debido a la ausencia de tejido de borde de cepillo y de glicocálix, son una puerta de entrada ideal para la bacteria (Alcober, 2022).

Cuando la bacteria entra en contacto con las membranas de las células de este tejido, desencadena una serie de respuestas debido a ciertas proteínas de membrana que posee. Estas proteínas inducen alteraciones en el citoesqueleto de las células del huésped infectado, generando ondulaciones en su superficie, lo que facilita la entrada de la bacteria en la célula. Estos cambios pueden ser responsables de las manifestaciones gastrointestinales asociadas a la infección (Alcober, 2022).

A nivel mundial, la gastroenteritis, la forma más común de infección por *Salmonella* no entérica (NTS), representa alrededor de 93,8 millones de casos y 155.000 muertes por año. Según datos de vigilancia epidemiológica de 2001-2005, el serovar frecuentemente aislado responsable de la infección por NTS en todo el mundo fue *Salmonella entérica* (65%), seguido de *S. typhi* y *S. no parathiphy*, que representaron respectivamente el 12% y el 4% de los aislados clínicos recuperados. De manera similar, en Asia, América Latina y Europa, *Salmonella entérica* fue el serotipo común identificado y representó el 38%, 31% y 87% de los aislados clínicos, respectivamente. Mientras que, en África, tanto *Salmonella entérica* como *S. typhi* fueron identificados como serotipos comunes que ocurren en el 26% y el 25% de los aislados clínicos recuperados. Sólo en 2010, los costos anuales asociados con la salmonelosis se estimaron en 2.710 millones de dólares por 1,4 millones de casos. De manera similar, en los EE. UU., los costos estimados de los gastos médicos, las bajas laborales y la pérdida de productividad relacionados con la alta incidencia de la salmonelosis oscilaron entre 1,3 y 4,0 mil millones de dólares al año. Los síntomas principales de la infección por *Salmonella* (*Salmonella* no tifoidea -NTS) incluyen inflamación del tracto gastrointestinal, acompañada de diarrea no sanguinolenta, vómito, náusea, cefalea, calambres abdominales y mialgia. En individuos sanos, la NTS tiende a ser una infección autolimitante, con un período de

recuperación de 2 a 4 días. Sin embargo, ciertos grupos susceptibles como niños, adultos mayores e inmunocomprometidos, son propensos a desarrollar padecimientos graves, incluso con riesgo de muerte (Contreras-Soto, 2019).

Los sistemas de vigilancia epidemiológica son herramientas eficaces para obtener información precisa sobre la incidencia de brotes diarreicos causados por el consumo de alimentos contaminados, así como para evaluar el impacto en la morbilidad y mortalidad de la población. Lamentablemente, estos sistemas funcionan de manera efectiva principalmente en países desarrollados, mientras que su rendimiento es deficiente en los países en desarrollo. Esta falta de eficacia se asocia con la falta de interés de la población en buscar atención médica en caso de eventos diarreicos, posiblemente debido a la percepción general de que estas infecciones tienden a ser autolimitantes. Además, factores como los costos económicos asociados con las consultas médicas y tratamientos, así como las deficiencias en los sistemas de salud pública, desmotivan a los pacientes a hacer uso de sus derechos como beneficiarios del sistema (Contreras-Soto, 2019).

Es alentador observar que las autoridades de salud en México han dedicado considerables esfuerzos al fortalecimiento del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE). Este sistema desempeña un papel crucial al recopilar información sobre eventos epidemiológicos, entre ellos los casos de salmonelosis, que son reportados de manera semanal. Este compromiso se refleja en el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-017-SSA2-1994, que establece las pautas y estándares para la vigilancia epidemiológica en el país. Este enfoque proactivo en la recolección y análisis de datos es esencial para comprender y abordar eficazmente la incidencia de enfermedades, como la salmonelosis, dentro del contexto de la salud pública. La información proporcionada por el SINAVE revela un aumento significativo de casos tanto de fiebre tifoidea y fiebre paratifoidea/otras salmonelosis en el periodo de 1984 a 2017. Los casos de fiebre tifoidea aumentaron de 7,629 a 45,280, mientras que los de fiebre paratifoidea/otras salmonelosis se incrementaron de 31,943 a 104,471 en el mismo periodo. Estadísticamente, Sinaloa

y Tamaulipas presentan los mayores índices de fiebre tifoidea, con 12.9 % y 10.25 %, respectivamente. En cuanto a fiebre paratifoidea y otras salmonelosis, Chiapas (12.99 %), Veracruz (9.37 %) y Tabasco (8.31 %) lideran en número de casos registrados. Es relevante destacar que se observa un incremento aproximado del doble de casos de salmonelosis en la población femenina en comparación con la masculina. Este fenómeno puede atribuirse a factores como la mayor proporción de mujeres en la población mexicana, susceptibilidad biológica y una mayor frecuencia de exposición a fuentes potenciales de contaminación; datos relevantes, sobre la importancia de comprender las dinámicas de género y los factores asociados para abordar eficazmente la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos en la población (Contreras-Soto, 2019).

Resistencia a antimicrobianos. La resistencia a los antimicrobianos (RAM), se refiere a la capacidad de los microorganismos para evitar que los antibióticos actúen eficazmente contra ellos. Una de las principales causas que impulsa el desarrollo de resistencia a los antimicrobianos es el uso indiscriminado de estos. El éxito de las bacterias con RAM se debe a su capacidad para mutar y para intercambiar material genético entre diferentes especies bacterianas. Este intercambio genético puede ocurrir a través de diversos mecanismos, como la transferencia de plásmidos, que son pequeños fragmentos de ADN que contienen genes de resistencia y pueden ser compartidos entre bacterias, incluso de diferentes especies. La RAM representa una amenaza significativa para la efectividad de los tratamientos antimicrobianos y destaca la importancia de un uso prudente de los medicamentos para preservar su eficacia a largo plazo (Contreras-Soto, 2019).

Actualmente se ha dirigido la atención hacia la caracterización de los diversos niveles de resistencia que pueden exhibir varios serotipos de *Salmonella*. Estas resistencias abarcan desde la uní resistencia hasta la resistencia múltiple a una variedad de antibióticos, entre los que se incluyen ampicilina, cloranfenicol, estreptomycin, sulfonamidas y tetraciclina. Destacando que todos estos fármacos

referidos son de primera elección en el tratamiento de padecimientos ocasionados por *Salmonella*. La identificación y comprensión de los perfiles de resistencia son esenciales para abordar eficazmente las infecciones por *Salmonella* y para garantizar la elección adecuada de tratamientos antimicrobianos. Además, la resistencia múltiple a estos antibióticos plantea desafíos significativos en el manejo clínico de las infecciones y destaca la importancia de estrategias de uso prudente de antibióticos para mitigar el desarrollo y la propagación de resistencia en este patógeno (Contreras-Soto, 2019).

En el estudio de caso de Contreras-Soto (2019), se refiere un brote gastrointestinal por *Salmonella oranienburg* en una prisión mexicana resalta la alta diversidad de patrones de resistencia observados (17 perfiles AMR). reportando resistencias a ampicilina, carbenicilina y cefalotina. Un hallazgo significativo fue que la resistencia antimicrobiana no se limita a serotipos patógenos típicos de humanos expuestos comúnmente a antimicrobianos. También se observa en cepas predominantes en ambientes no hospederos, como la alta resistencia a tetraciclina en *Salmonella typhimurium* aislada de agua en el valle de Culiacán, Sinaloa. En estudio más detallado identificaron el gen tet(A), que confiere resistencia a tetraciclina, en el transposón Tn1721 en el ADN genómico.

El desarrollo de resistencia antimicrobiana en *Salmonella* durante su paso por el ambiente parece ser mediado por cambios genéticos inducidos por la exposición a fármacos utilizados de manera intensiva e indiscriminada en actividades agrícolas y pecuarias. Dada la complejidad y desafíos asociados con el control bacteriano mediante el uso de fármacos, es crucial explorar alternativas que estén disponibles para toda la población y garanticen una protección duradera. Se mencionan líneas alternas de investigación, como el uso de bacteriófagos, ampliamente utilizados en control biológico y fagoterapia, y el desarrollo de vacunas para serotipos diferentes a *Salmonella typhimurium*, estrategias que representan enfoques innovadores para contribuir a reducir la dependencia de antibióticos y mitigar los riesgos asociados con la resistencia antimicrobiana (Gieraltowski *et al.*, 2016).

Capítulo 3. Calidad microbiológica de la carne

El *Codex Alimentarius* define a la carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin” (FAO, 2018). Y según detalla el Código alimentario español, que la carne es la parte muscular comestible de los animales de abasto sacrificados y faenados en condiciones higiénicas, que incluyen las porciones de grasa, hueso, cartilago, piel, tendones, aponeurosis, nervios y vasos linfáticos y sanguíneos que normalmente acompañan al tejido muscular y que no se separan de él en los procesos de manipulación, preparación y transformación (Valenzuela y Pérez, 2016).

La composición química de la carne es bastante compleja y variada, dependiendo de muchos factores externos e internos. La composición detallada y cómo las condiciones de manipulación, procesamiento y almacenamiento afectan a estos componentes determinan su valor nutricional, durabilidad y aceptación por parte del consumidor. Tanto las carnes frescas como las procesadas se evalúan en función de su contenido microbiano y características físicas como textura, color y componentes como: humedad, proteínas, grasas y cenizas (material inorgánico). Para la carne fresca las principales determinaciones a realizar son el pH y el color. El contenido de grasa de la carne suele variar entre el 1 y el 15 %. Las proteínas (colágeno o elastina) constituyen la mayor parte del contenido de la carne. El contenido de proteínas se divide entre actina y miosina, las cuales son responsables de la contracción muscular (Ayala, 2018).

Al cortar la carne puede surgir los primeros indicios de contaminación por patógenos del tracto intestinal, los microorganismos suelen contaminar la carne durante el proceso. La forma en que se sacrifica el animal para abasto afecta la calidad final de la carne, el estrés del animal produce ácido láctico característico de la carne de color rojo oscuro en los tejidos. Después de la muerte del animal, las canales se enfrían y clasifican, tras lo cual pasan a la distribución y procesamiento

de alimentos. Esta secuencia de procesos transforma los músculos de un animal en carne.

Propiedades nutricionales de la carne

El consumir carne como fuente de proteína de origen animal nos beneficia de distintas formas, además de que las grasas animales (ácido linoleico conjugado y el alfa linolénico), sirven como fuente de protección al organismo humano al proporcionarle ácidos grasos esenciales para el mantenimiento de la piel, activación del sistema inmune, prevención del cáncer y mantener la masa y tonificación muscular (Rubio *et al.*, 2013).

La carne contribuye de manera importante a satisfacer las necesidades nutritivas del hombre. Sus componentes mayoritarios, son variables según la especie de origen, son agua (65-80%), proteína (16-22%) y grasa (1 a 15%). Pero también estos componentes pueden variar en función, de la raza, del sexo, de la edad del animal e incluso del alimento administrado al animal (Lawrie, 1988; Ibáñez, 2007). En la composición de la carne también se encuentran pequeñas cantidades de sustancias nitrogenadas no proteicas (aminoácidos libres, péptidos y nucleótidos entre otros), minerales de elevada biodisponibilidad, (hierro y zinc), vitaminas (B6, B12, retinol y tiamina) e hidratos de carbono (Ramírez, 2004; Valenzuela y Pérez, 2016).

Reacciones bioquímicas de la carne

El músculo sufre una serie de cambios después de la muerte del animal, como:

- a). Glucolisis muscular: ocurre cuando el músculo pierde funciones inmediatamente después de la muerte, proporcionándole al músculo un fallo circulatorio, el músculo deja de oxigenarse y causa un descenso en la temperatura.
- b). Rigor mortis: el músculo pierde su vitalidad, y entra en un estado de rigor mortis caracterizado por un descenso del pH de 6.8 a 5.4.
- c). Maduración: En el caso de la carne, el pH del músculo vivo está próximo a la

neutralidad. Cuando se produce la muerte del animal, el aporte de oxígeno a los tejidos cesa, y predominan los procesos anaeróbicos (glucólisis anaeróbica) que generan la formación de ácido láctico a partir de glucógeno muscular. La formación de ácido láctico provoca el descenso del pH en el músculo de modo que dicho valor es índice del desarrollo de las modificaciones bioquímicas post-mortem.

Cuando se ha completado el proceso de maduración de la carne, la misma debe tener un pH comprendido entre 5.4 y 5.6 como pH idóneo, que permite una buena vida comercial, al inhibir el crecimiento de microorganismos, y proporcionarle las características físico-químicas adecuadas. Sin embargo, ante determinadas situaciones el pH de la carne se ve alterado debido a que los procesos de glucólisis anaerobia no se desarrollan adecuadamente. En este caso podemos encontrar dos situaciones:

Carnes PSE (pálida, suave y exudativa; del inglés pale, soft and exudative): Si el pH disminuye rápidamente tras la muerte del animal debido a una glucólisis acelerada, el pH final queda por debajo de 5.4, y da lugar a carnes PSE. Este tipo de carne tiene una menor capacidad de retención de agua y exuda agua al exterior que favorece la proliferación microbiana.

Carnes DFD (Oscura, firme y seca; del inglés dark, firm and dry): Si, por el contrario, el animal llega cansado al sacrificio tras realizar un ejercicio intenso en el que se ha agotado el glucógeno muscular, la glucólisis anaerobia finaliza antes de alcanzar el pH final debido a que no hay sustrato, quedando el pH muscular por encima de 5.6. En este caso se producen carnes DFD que se caracterizan por tener una alta capacidad de retención de agua y un pH elevado que favorece la proliferación microbiana (Castrillón *et al.*, 2005).

d). Putrefacción: Olor fétido y empieza a actuar la cadaverina que es la que forma

el ácido arsénico, amoníaco, las grasas se descomponen formando ácido butírico y acético, éste ya es un proceso irreversible (Kuskoski *et al.*, 2005).

El proceso de transición de un músculo a carne se divide en tres fases: la fase previa al rigor del sistema nervioso, es decir. la fase de supervivencia, rigor, donde terminan los componentes energéticos (ATP, fosfocreatinina, glucosa), y la fase final post-rigor de la carne, en la que se produce una desestructuración de la arquitectura muscular (Ayala, 2018).

El rigor mortis es uno de los cambios fisicoquímicos más importantes del músculo, durante el cual tienen lugar una serie de reacciones de desnaturalización de proteínas que afectan directamente propiedades como la retención de agua, el color y la firmeza de la carne fresca, la terneza, el sabor, la jugosidad y los rendimientos de los procesos. Es un proceso progresivo de ablandamiento de la carne que pasa por la acción continua de los sistemas enzimáticos que rompen las proteínas dentro del músculo, después de la resolución del rigor mortis. El proceso de maduración de la carne involucra al menos dos tipos de mecanismos dependientes de la temperatura que funcionan sinérgicamente: sistemas enzimáticos y modificaciones fisicoquímicas (Ayala, 2018).

Tabla 1. Composición química de carne de diferente especie (en 100 g de fracción comestible).

Carne magra	Agua	Proteína	Grasas	Minerales	Kcal/100 g
Vacuno	66.0	18.8	13.7	1.0	213
Ternera	72.7	20.5	5.4	1.1	142
Cerdo	53.3	15.3	30.5	0.8	357
Cordero	69.0	18.2	12.5	1.0	199
Conejo	69.6	20.8	7.62	1.1	164
Pollo	72.7	20.6	5.60	1.1	144

Fuente: Souci *et al.* (1987).

Aspectos cualitativos de la carne

Los consumidores siempre están buscando que la carne tenga ciertas características como la ternura, jugosidad, sabor, color, textura y contenido graso, pero normalmente el consumidor nota a primera vista el color y de ahí dependerá si la compra o no (Kumar *et al.*, 2015).

Color de la carne

La mioglobina es el principal pigmento de la carne, y el color de este dependerá del estado en el que se encuentra la mioglobina (Barbosa-Pereira *et al.*, 2014). Por lo que esta condición es importante al considerar que, las formas de mioglobina, son: Oximioglobina: es un color brillante en la que se encuentra en el borde superior y a los lados (Martínez-Flórez *et al.*, 2002), que son las zonas que han entrado en contacto con el oxígeno (Contini *et al.*, 2011).

Metamioglobina: es un color pardo, la cantidad de oxígeno es menor que en el exterior, pero actúa de manera muy pro-oxidante.

Desoximioglobina: es un color púrpura, que se encuentra en la parte interna y esta es la molécula “pura” de mioglobina, que todavía no se ha unido a oxígeno y su centro de hierro no se ha oxidado (Martínez-Flórez *et al.*, 2002).

Para el color como indicador importante de la calidad de la canal, se producen cambios de color visibles en la carne durante el enfriamiento y afectan la aceptabilidad del consumidor en el momento de la compra. La carne de cerdo fresca debe tener un color rojo rosado. Los músculos individuales suelen tener un color uniforme, pero los músculos en su conjunto suelen diferir significativamente. El motivo de un color más oscuro puede ser: un aumento en la cantidad de pigmentos de color debido a la edad avanzada o una mayor actividad fisiológica; menor penetración de oxígeno a la superficie; deshidratación en la superficie; contaminación bacteriana; falta de acumulación de ácido láctico después

del sacrificio y durante el enfriamiento de la canal. Por otro lado, el color rosado, casi gris, puede deberse a la rápida conversión del glucógeno muscular en ácido láctico, lo que provoca un rápido aumento de la acidez inmediatamente después del sacrificio (Rodríguez, 2015).

El consumidor asocia el color de la carne con la calidad sensorial y microbiana de la misma (carne sana y comestible). El color de la carne se ve afectado por varios factores como la genética, la dieta y el almacenamiento, entre otros factores (Honickel *et al.*, 1998; Gil, 2010).

Según la NPB (National Pork Board) (2000), la medición del color de la carne cruda está influenciada por la dieta del animal, la velocidad de enfriamiento de la canal, el tipo de músculo, la orientación de las fibras, el pH del músculo, el tiempo de almacenamiento post-mortem y la temperatura de recepción, duración de la exposición del músculo al oxígeno, extensión y distribución del marmoleo, humedad y brillo de la superficie y concentración de mioglobina. Por lo que es muy importante estandarizar al máximo las variables en las medidas de color de las muestras que se comparan y tener en cuenta todos estos factores a la hora de procesar las muestras. Las mediciones del color siempre deben correlacionarse con el valor del pH de la carne (Rodríguez, 2015).

Capítulo 4. Contaminación de la carne de ave, del huevo y de carne de cerdo por *Salmonella* spp.

La contaminación con *Salmonella* en canales de aves y especies de aves grandes, y en productos fraccionados en muchas ocasiones es inevitable. Existe información sobre cómo los animales liberan bacterias (externas e internas) y estas se propagan a través de diferentes mecanismos. La transmisión vertical ocurre en las aves, con contaminación de la membrana vitelina, albumen y posiblemente la yema del huevo. La *Salmonella* es común en especies de ganado para abasto de talla grande. Su prevalencia en canales de ganado vacuno varía entre 0.2 y 21.5% (Fernández-Escartín, 2008).

Las aves sirven como reservorio principal de varios serotipos de *Salmonella* no tifoidea (NTS) entre los animales productores de alimentos. Los serotipos NTS de importancia epidemiológica incluyen *S. typhimurium*, *S. enteritidis*, *S. heidelberg* y *S. newport*. En América del Norte y Europa, *S. enteritidis* domina la transmisión de infecciones a humanos a través de huevos, mientras que *S. typhimurium* fue el principal serotipo asociado con la contaminación externa de huevos en Australia. Entre 1998 y 2008, las aves representaron el 17,9% de las enfermedades transmitidas por alimentos en los EE. UU., siendo *Salmonella* ser. *enteritidis* y *typhimurium* con el 17,4% y el 34% las responsables de las enfermedades, respectivamente. Para el año 2016, se informó en California y Washington de un brote nacional de *S. heidelberg* resistente a múltiples medicamentos vinculado a productos de pollo producidos por una sola empresa avícola, lo que provocó altas tasas de hospitalización e indicó cepas de *Salmonella* de alta virulencia (Gieraltowski *et al.*, 2016).

En países en desarrollo como México, la *Salmonella* a menudo se asocia con enfermedades gastrointestinales. Según la Secretaría de Salud, entre 2004 y 2009 se reportaron en México 709,278 casos de salmonelosis y 228,206 casos de fiebre tifoidea. Las medidas de prevención y control son de interés para evitar en la medida

de lo posible el desarrollo de enfermedades causadas por este patógeno (Torres-Vitela *et al.*, 2012).

Salmonella presente en carne de ave

Actualmente las pruebas de *Salmonella* en aves de corral ayudan a identificar productos contaminados y evitar que lleguen a los consumidores, lo que reduce el riesgo de brotes y protege la salud pública. La presencia de *Salmonella enteritidis* en los gallineros después de la limpieza y desinfección puede representar una amenaza potencial para la salud pública, ya que es una de las causas más importantes de enfermedades transmitidas por los alimentos (CFSPH, 2005).

Las principales fuentes de infección humana a nivel mundial son los productos cárnicos, incluido el consumo de carne de ave contaminada, a pesar de la implementación de medidas de control de *Salmonella* en la producción de alimentos en los países industrializados. En los últimos años, se han informado cambios en los serotipos de *Salmonella* asociados con la carne y la producción avícola en diferentes regiones geográficas, especialmente debido a la propagación de algunos clones bien adaptados (Antunes *et al.*, 2016).

Además, la resistencia a los antimicrobianos en *Salmonella* no tifoidea se considera una de las principales amenazas para la salud pública asociada con la producción de alimentos, incluidas las aves de corral y la cadena de producción avícola, lo que supone otro desafío en el manejo de la salmonelosis. Esta situación se ve exacerbada por la circulación de los mismos clones de *Salmonella* multirresistentes y/o los mismos elementos genéticos móviles que codifican genes de resistencia a los antibióticos de las aves a los humanos. A medida que la comercialización a nivel global se incrementa, los alimentos, como la carne de ave, pueden surgir nuevos problemas y desafíos en el control de la salmonelosis, lo que requerirá nuevas estrategias de intervención integradas en toda la cadena alimentaria (Antunes *et al.*, 2016; Ramatla *et al.*, 2021).

En la última década, los programas de control de *Salmonella*, dirigidos principalmente a la producción avícola, han dado lugar a una reducción significativa de la salmonelosis en diferentes países, incluida la UE. Este efecto positivo se ha asociado con un cambio en los serotipos de *Salmonella* de enfermedades avícolas y humanas, asociado con una marcada reducción de *S. enteritidis* y el aumento de serotipos menos comunes, impulsado por la diseminación de clones particulares que portaban características que favorecían su adaptabilidad sobre su hospedero (aves de corral/humano) (Ramatla *et al.*, 2021).

Se ha informado que las aves de corral son una fuente de *Salmonella* no tifoidea resistente a antibióticos clínicamente relevantes, con una incidencia notablemente mayor en los países de ingresos medios, lo que debido a la globalización del comercio de alimentos puede desafiar drásticamente en todo el mundo el tratamiento de los casos graves de salmonelosis.

Vigilancia integrada (colaboración entre la salud humana, la seguridad alimentaria y la salud animal: el enfoque "Una sola salud") y estrategias de contención (incluidas las granjas, el comercio minorista, la restauración y los consumidores) para minimizar la contaminación y reducir la transmisión de *Salmonella* (incluidos los clones epidémicos) a lo largo de la ruta. La cadena alimentaria (desde la producción primaria hasta el consumo) son obligatorias a escala mundial, en particular en la cadena de producción avícola. Además, la vigilancia continua de los niveles de resistencia de *Salmonella* a nivel mundial es fundamental para que los médicos respalden las mejores opciones de tratamiento para la salmonelosis y eviten fracasos terapéuticos, especialmente en pacientes que se beneficiarían de un tratamiento empírico con antibióticos. El seguimiento continuo para detectar la aparición de cualquier serotipo o nuevo clon a lo largo de la cadena alimentaria es de vital importancia para la salud pública, advirtiendo de la aparición de nuevos riesgos para la seguridad alimentaria por *Salmonella*, que involucran alimentos como la carne de ave, que es uno de los más consumidos y en aumento (Shaji *et al.*, 2023).

Contaminación de la carne de cerdo por *Salmonella* spp.

Salmonella como patógeno zoonótico es una de las principales causas de epidemias e infecciones transmitidas por alimentos en la Unión Europea. Los cerdos son un reservorio importante y a menudo son portadores subclínicos de este organismo. La *Salmonella* se puede transmitir a través de las heces, lo que puede transmitir la infección a otros cerdos, al ambiente, a los vehículos, a los graneros y a otras áreas. El derrame involuntario de contenido intestinal durante el sacrificio también causa contaminación tanto para los operarios encargados del procesamiento, en los utensilios utilizados para el faenado y en las instalaciones (Ayala-Romero *et al.*, 2018; Deane, 2022).

En varios países, se ha identificado a los cerdos como una fuente importante de *Salmonella* spp.; por lo que la carne de cerdo es una de las mayores fuentes de infección y se estima que entre el 15 y el 23% de todos los casos humanos de salmonelosis ocurren por carne contaminada. La alta prevalencia de *Salmonella* en los ganglios linfáticos de los cerdos sugiere que es un problema importante antes del sacrificio y un desafío en y para los mataderos a la hora de cumplir con los requisitos de higiene del proceso (Deane, 2022).

La carne de cerdo es la tercera fuente más común de salmonelosis transmitida por alimentos en humanos (Arguello *et al.*, 2013). La principal fuente de contaminación de las canales son los microorganismos presentes en el tracto intestinal de los cerdos, que son portadores de *Salmonella* y son introducidos en los mataderos (EFSA, 2008). Los cerdos infectados pueden portar altos niveles de estas bacterias por gramo de heces, y las heces contaminadas pueden filtrarse durante el proceso de sacrificio. También se ha referido que las fuentes de contaminación ambiental, las superficies de contacto de los equipos y la manipulación por parte de los trabajadores. Se ha descubierto que la transmisión directa de la flora nativa presente en los mataderos es una fuente importante de contaminación de las canales (Botteldoorn *et al.*, 2003; Duggan *et al.*, 2010; Smid *et al.*, 2011). Y el grado de

contaminación puede variar ampliamente según el matadero y la fecha de muestreo (Botteldoorn *et al.*, 2003).

El estrés y la abstinencia de alimento son factores importantes relacionados con el transporte que pueden promover la eliminación de *Salmonella* por parte de los cerdos portadores. El estrés y la falta de nutrición son factores importantes relacionados con el transporte que pueden contribuir a la propagación de la salmonelosis en los cerdos. La manipulación, la carga, la mezcla con cerdos desconocidos, la alta densidad de animales y los cambios ambientales, incluida la temperatura, son algunos de los factores que contribuyen al estrés. Se recomienda retirar el pienso 12-24 horas antes del sacrificio para reducir la proporción de carne de cerdo pálida, blanda y exudativa y con esto también facilitar la evisceración. Sin embargo, la abstinencia de alimento puede provocar estrés y alteraciones intestinales, lo que puede favorecer la eliminación de la bacteria *Salmonella* spp. (Arguello, 2013).

Los cerdos son aturdidos, sacrificados y desangrados a la entrada del matadero; se han demostrado altos niveles de contaminación de cadáveres en el punto de desangrado. La contaminación de la piel a menudo puede ocurrir cuando el ambiente del establo está contaminado o cuando los compañeros de corral propagan *Salmonella* spp. Los trabajadores que entran en contacto con cadáveres pueden transmitir la salmonelosis de un cadáver contaminado a otro no contaminado. Los cerdos aturdidos suelen entrar en contacto con las mismas zonas que pueden estar contaminadas con *Salmonella* spp. El aturdimiento con dióxido de carbono, a diferencia del aturdimiento eléctrico, puede resultar en una eliminación más eficaz de *Salmonella* spp. en las heces después de la relajación muscular. Después del desangrado, se utilizan diversos procedimientos de calentamiento, lavado y abrasivo, que incluyen escaldado, depilado, chamuscado y pulido, para reducir la contaminación visual y microbiológica de la piel. Las quemaduras se producen en un baño de agua o en una sauna de vapor a una temperatura de 55-

70 °C. El agua suele reciclarse y contaminarse por el suelo, las heces, la ingestión y los microorganismos transportados por el cerdo. Si la temperatura del agua es inferior a 61-62 °C o contiene grandes cantidades de materia orgánica, se puede aislar *Salmonella* spp. del agua hirviendo del tanque. Se ha sugerido que la temperatura del tanque de incineración es crucial porque el agua de incineración puede ser una fuente importante de contaminación cruzada. El chamuscado de las canales después del depilado reduce la presencia de *Salmonella* a niveles muy bajos. El chamuscado es el único paso del proceso de producción en el que realmente se puede eliminar la *Salmonella* (Arguello, 2013).

En el trabajo de Zabaleta (2014), se reportó que los serotipos más comunes fueron *Salmonella typhimurium* (70%), *Salmonella javina* (9%) y *Salmonella derby* (6%), mientras que Ayala-Romero *et al.* (2018) informaron que *Salmonella typhimurium* (12.5 %), *Salmonella javina* (12.5%), mostrando una fuerte correlación entre los serotipos de *Salmonella* y la contaminación de la canal en cerdos. Adicionalmente, Landon-Barragán *et al.* (2015) reportaron *S. muester* en 4/9 (44.4%), seguido de *S. derby* (22,2%), en Tolima, Colombia, que fue el serotipo predominante aislado de canales, aunque el número de cepas fue menor en comparación con estudios previos, lo que puede representar una subestimación de lo que realmente se puede hallar con respecto a esta bacteria (Arcos-Ávila *et al.*, 2013).

Adicionalmente, Campos *et al.* (2019), en su trabajo refieren que la difusión de aquellos serotipos/clones de *Salmonella* clínicamente relevantes se ha relacionado con la intensificación de la cadena de producción porcina y con un aumento en el comercio internacional de cerdos y carne de cerdo. La aparición de resistencia a los antibióticos en *Salmonella* no tifoidea asociada con el uso de antimicrobianos en la cadena de producción porcina es de especial preocupación para la salud pública. Ya que la transmisión de serotipos, clones y/o elementos genéticos de *Salmonella* multirresistentes relacionados con cerdos que portan genes de resistencia a antibióticos se encuentran frecuentemente asociados con genes de tolerancia a

metales, desde los cerdos y la carne de cerdo a los humanos, poniendo de manifiesto la contribución de diferentes factores en la aparición de resistencia a los antibióticos.

Contaminación del huevo por *Salmonella* spp.

Los huevos o alimentos a base de huevo ya sean crudos o poco cocidos, aún con cáscaras limpias o sin rajaduras, son vehículos comunes de *Salmonella* y han sido comúnmente identificados como causa de salmonelosis (Schroeder *et al.*, 2005; CDCP, 2006). La Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA) estima que hay 79.000 casos de enfermedades transmitidas por alimentos y 30 muertes cada año por comer huevos contaminados con *Salmonella* (FDA, 2016). Esta contaminación, puede presentarse como resultado de la penetración de contaminantes fecales a través del cascarón, especialmente cuando dicha estructura está fisurada o demasiado sucia (López *et al.*, 1991), o bien porque el tracto reproductor del ave se encuentra infectado (Humphrey, 1991), albergando a la bacteria *Salmonella* ya sea en el interior (en la yema) o en el exterior (en la cáscara) (Schroeder *et al.*, 2005).

LÍMITE DE ESPACIO

El trabajo se realizó en las salas de estudio y bancos de información (base de datos), de los siguientes centros:

Biblioteca Central del Cerrillo Piedras Blancas, de la Unidad *Campus* el Cerrillo de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México.
Biblioteca de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Instituto Nacional de Investigación y Fomento Agropecuario (INIFAP) de Palo Alto. México.

Biblioteca del Instituto de Investigaciones Biomédicas. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

LÍMITE DE TIEMPO

El trabajo se realizó en el período comprendido de octubre a diciembre de 2023; para la elaboración del documento se incluyó la información más relevante.

En donde destacan las fases de recolección y búsqueda de información, análisis y redacción del documento.

Cronograma de actividades

Actividad	Sep- Oct 2023	Octubre 2023	Noviembre 2023	Diciembre 2023
Recolección y búsqueda de información	X	X		
Análisis y elaboración de fichas bibliográficas	X	X		
Redacción de protocolo	X	X	X	
Redacción del documento final			X	X

CONCLUSIONES

La *Salmonella* spp. patógeno de importancia zoonótica induce a enfermedad entérica tanto en los animales (aves y cerdos), como en el humano.

S. enteritidis se asocia comúnmente con aves y sus productos, mientras que *S. typhimurium* tiene una más amplia gama de hospederos incluido el cerdo.

Es importante determinar y realizar medidas tendientes a minimizar la contaminación de la carne como principal elemento de contaminación de producción animal a él humano a escala global.

Aplicar medidas higiénico sanitarias, así como el sistema de análisis de puntos críticos de control para la prevención / control de la salmonelosis.

Es importante reforzar la intervención y estrategias globales obligatorias para un control y vigilancia eficaces de *Salmonella* en toda la cadena de producción de aves y de la industria porcina.

LITERATURA CITADA

- Ahmad-Faris, A.N.; Ahmad-Najib, M.; Mohd-Nazri, M.N.; Hamzah, A.S.A.; Aziah, I.; Yusof, N.Y.; Mohamud, R.; Ismail, I.; Mustafa, F.H. (2022). Colorimetric Approach for Nucleic Acid *Salmonella* spp. Detection: A Systematic. Res. Review. *Int. J. Environ Public Health*, 19:10570.
- Alcober, P.M. (2022). Salmonelosis: epidemiología, prevención y patogenia, Revista Ocronos.
- Anderson, P.M.R. (2005). Enfermedades de Origen Alimentario. Su Prevención. Ediciones Díaz de Santos. España. pp. 55.
- Antunes. P.; Mourão, J.; Campos, J.; Peixe, L. (2016). Salmonellosis: the role of poultry meat. *Clin Microbiol Infect.* 22(2):110-121.
- Arcos-Ávila, E.C.; Mora-Cardona, L.; Fandiño-de Rubio, L.C.; Rondón-Barragán, I.S. (2013). Prevalencia de *Salmonella* spp en carne porcina, plantas de beneficio y expendios del Tolima. *Orinoquia* 17:59-68.
- Arguello, H.; Álvarez-Ordoñez, A.; Carvajal, A.; Rubio, P.; Prieto, M. (2013). Role of slaughtering in *Salmonella* spreading and control in pork production. *J Food Prot.*, 76(5):899-911.
- Ayala, V.C. (2018). Importancia nutricional de la carne. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5:54-61.
- Ayala-Romero, C.; Ballen-Parada, C.; Rico-Gaitán, M.; Chamorro-Tobar, I.; Zambrano-Moreno, D.; Poutou-Piñales, R.; Carrascal-Camacho, A. (2018). Prevalence of *Salmonella* spp in mesenteric pig's ganglia at Colombian benefit plants. *Rev MVZ Córdoba* 23: 6474-6486.
- Barbosa-Pereira, L.; Aurrekoetxea, G.P.; Angulo, I.; Paseiro-Losada, P.; Cruz, J.M. (2014). Development of new active packaging films coated with natural phenolic compounds to improve the oxidative stability of beef. *Meat Science* 97:249–254.
- Brenner, F.W.; Villar, R.G.; Angulo, F.J.; Tauxe, R.; Swaminathan, B. (2000). Nomenclatura de *Salmonella*. *J.Clin. Microbiol.*, 38:2465-2467.
- Botteldoorn, N.; Heyndrickx, M.; Rijpens, N.; Grijspeerdt, K.; Herman, L. (2003).

- Salmonella* on pig carcasses: positive pigs and cross contamination in the slaughterhouse. *J. Appl. Microbiol.*, 95:891-903.
- Campos, J.; Mourão, J.; Peixe, L.; Antunes, P. (2019). Non-typhoidal *Salmonella* in the Pig Production Chain: A Comprehensive Analysis of Its Impact on Human Health. *Pathogens*. 8(1):19.
- Castrillón, E.H.W.; Fernández, S.J.A.; Restrepo, B.L.F. (2005). Determinación de carne PSE (pálida, suave y exudativa) en canales de cerdo. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 12 (1): 23-28.
- CFSPH (The Center for Food Security and Public Health) (2005). *Salmonellosis paratifoide, no tifoidea*. Institute for International Cooperation in animal biologics. pp. 478.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) (2006). Surveillance for foodborne-disease outbreaks -United States, 1998 -2002. *Morb. Mortal.* pp. 1 - 34.
- Consejo Mexicano de la Carne (2015). Historia de la carne. Disponible en: www.comecarne.org/historia-de-la-carne/ (19 octubre 2023).
- Contini, C.; Katsikogianni, M.G.; O'Neill, F.T.; O'Sullivan, M.; Dowling, D.P.; Monahan, F.J. (2011). Development of active packaging containing natural antioxidants. *Procedia Food Science* 1:224–228.
- Contreras-Soto, M.B.; Medrano-Félix, J.A.; Ibarra-Rodríguez, J.R.; Martínez-Urtaza, J.; Chaidez, Q.C.; Castro-del Campo, N. (2019). The last 50 years of *Salmonella* in Mexico: Sources of isolation and factors that influence its prevalence and diversity. *Revista Bio Ciencias* 6(2): e540.
- Crowley, E.; Boyle, M.; Bird, P.; Bezinger, M.J.; Fisher, K.; Huffman, K.; Bedinghaus, P.; Flannery, J.; Agin, J.; Goins, D. (2013). Comparative Evaluation of the 3M Petrifilm *Salmonella* Express System of the Detection of *Salmonella* Species in Food and Environmental Surfaces. pp. 67.
- Davis, B.D.; Dulbecco, R.; Eise, H.N.; Ginsberg, H.S. (1990). Tratado de microbiología. 3a ed. México, D.F. Salvat. pp. 234-287.
- Deane, A.; Murphy, D.; Leonard, F.C.; Byrne, W.; Clegg, T.; Madigan, G.; Griffin, M.E.; Egan, J.; Prendergast, D.M. (2022). Prevalence of *Salmonella* spp. in

- slaughter pigs and carcasses in Irish abattoirs and their antimicrobial resistance. *Ir Vet J.* 6;75(1):4.
- Duggan, S.J.; Mannion, C.; Prendergast, D.M.; Leonard, N.; Fanning, S.; Gonzales-Barron, U.; Egan, J.; Butler, F.; Duffy, G. (2010). Tracking the *Salmonella* status of pigs and pork from lairage through the slaughter process in the Republic of Ireland. *J Food Prot.*, 73(12):2148-2160.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2018). Composición de la carne. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor.
- Fernández-Escartín, E. (2008). Microbiología e Inocuidad de los Alimentos. Universidad de Querétaro. 2ª ed. pp. 259.
- FDA. (2016). Seguridad con los huevos. <https://www.fda.gov/downloads/Food/FoodborneIllnessContaminants/UCM278447.pdf>
- García, P.T. (2002). Factores de riesgo, limitaciones al consumo de carne bovina. Instituto Tecnológico de Alimentos (INTA). Sitio argentino de Producción Animal. Disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/9-factores_de_riesgo.pdf (19 octubre 2023).
- Gieraltowski, L.; Higa, J.; Peralta, V.; Green, A.; Schwensohn, C.; Rosen, H.; Libby, T.; Kissler, B.; Marsden-Haug, N.; Booth, H.; Kimura, A.; Grass, J.; Bicknese, A.; Tolar, B.; Defibaugh-Chávez, S.; Williams, I.; Wise, M. (2016). *Salmonella* Heidelberg Investigation Team. National Outbreak of Multidrug Resistant *Salmonella* Heidelberg Infections Linked to a Single Poultry Company. *PLoS One.* 11(9):e0162369.
- Gil, H.A. (2010). Colección Tratado de Nutrición. Tomo II. Composición y calidad nutritiva de los alimentos.
- Humphrey, T.J. (1991). Infección por *Salmonella* enteritidis en pollos y gallinas de postura. Curso de actualización sobre *Salmonella* enteritidis y *Campylobacter* en las aves domésticas. México. 20-26.

- Ibáñez, M.C. (2007). Enfermedades transmitidas por agua y alimentos, epidemiología de las enfermedades infecciosas, fundación para el conocimiento. Madrid.
- Jawetz, E.; Melnik, J.L.; Adelberg, E.A. (1992). Microbiología médica. 14a ed. México, D.F. Manual Moderno. pp. 189-210.
- John, L.I.; Catherine, A.I. (1998). introducción a la microbiología. México. Reverte, S.A. pp. 278-284.
- Kumar, Y.; Yadav, D.N.; Ahmad, T.; Narsaiah, K. (2015). Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14:796-812.
- Kuskoski, E.M.; Asuero, A.G.; Troncoso, A.M.; Mancini-Filho, J.; Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 25:726-732.
- Lawrie, R.A. (1988). Meat science, Editorial Pergamon Press. New York, pp. 267.
- López, J.; Karpowicz, E.; Becker, S. (1991). Penetración de *Salmonella* enteritidis en huevos clasificados intactos, sin llegar al contenido del huevo. Curso de Actualización sobre *Salmonella* enteritidis y *Campylobacter* en las aves domésticas. México. 97:103.
- Martínez-Flórez, S.; González-Gallego, J.; Culebras, J.M.; Tuñón, M.J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutr. Hosp.*, 17 (6) 271-278.
- McQuiston, J.R.; Parrenas, R.; Ortiz-Rivera, M.; Gheesling, L.; Brenner, F.; Fields, P.I. (2004). Sequencing and comparative analysis of flagellin genes *fliC*, *fljB*, and *flpA* from *Salmonella*. *J Clin Microbiol.*,42(5):1923-1932.
- NOM-114-SSA1-1994. Bienes y servicios, método para la determinación de salmonella en alimentos. DOF. Distrito Federal. México.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2018). *Salmonella* (no tifoidea).
- Porto, Y.D.; Fogaça, H.D.S.; Andrade, A.O.; da Silva, L.K.S.; Lima, J.P.; da Silva J.L.; Vieira, B.S.; Cunha, N.A.; Figueiredo, E.E.S.; Tassinari, W.S. (2023). *Salmonella* spp. in Aquaculture. An Exploratory Analysis (Integrative

- Review) of Microbiological Diagnoses between 2000 and 2020. *Animals (Basel)*. 13:27.
- Ramatla, T.; Tawana, M.; Onyiche, T.E.; Lekota, K.E.; Thekiso, O. (2021). Prevalence of Antibiotic Resistance in *Salmonella* Serotypes Concurrently Isolated from the Environment, Animals, and Humans in South Africa: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Antibiotics*, 10:1435.
- Ramírez, T.J.A. (2004). Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Restrepo, M.D.A.; Arango-Mejía, C.M.; Améquita-Campuzano, A.; Restrepo, R.A.D. (2001). *Industria de Carnes*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. pp.101.
- Reeves, M.W.; Evins, G.M.; Heiba, A.A.; Plikaytis, B.D.; Farmer, J.J. (1989). 3rd. Clonal nature of *Salmonella typhi* and its genetic relatedness to other salmonellae as shown by multilocus enzyme electrophoresis, and proposal of *Salmonella bongori* comb. nov. *J Clin Microbiol.*, 27(2):313-320.
- Rodríguez, I.; Jahn, S.; Schroeter, A.; Malorny, B.; Helmuth, R.; Guerra, B. (2012). Extended-spectrum β -lactamases in German isolates belonging to the emerging monophasic *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Typhimurium 4,[5],12:i:- European clone. *J. Antimicrob. Chemother.*, 67:505-508.
- Rondón-Barragán, I.S.; Arcos-Ávila, E.; Mora-Cardona, L.; Fandiño, C. (2015). Characterization of *Salmonella* species from pork meat in Tolima, Colombia. *Rev Colomb Cienc Pec.*, 28:74-82.
- Rubio, L.S.M.; Braña, V.D.; Méndez, M.R.D.; Delgado, S.E. (2013). Composición de la carne mexicana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP.
- Schroeder, C.M.; Naugle, A.L.; Schlosser, W.D.; Hogue, A.T.; Angulo, F.G.; Rose, J.S.; Ebel, E.D.; Disney, W.T.; Holt K.G.; Goldman, D.P. (2005). Estimate of

- illnesses from *Salmonella enteritidis* in eggs, United States. *Emerg. Infect. Dis.* 11:113-115.
- Schroeder, S.; Harries, M.; Prager, R.; Hofig, A.; Ahrens, B.; Hoffmann, L.; Rabsch, W.; Mertens, E.; Rimek, D. (2016). A prolonged outbreak of *Salmonella* Infantis associated with pork products in central Germany, April–October 2013. *Epidemiol. Infect.*, 144:1429-1439.
- Shaji, S.; Selvaraj, R.K.; Shanmugasundaram, R. (2023). *Salmonella* Infection in Poultry: A Review on the Pathogen and Control Strategies. *Microorganisms.* 11(11):2814.
- Smid, J.H.; Swart, A.N.; Havelaar, A.H.; Pielaat, A. (2011). A Practical Framework for the Construction of a Biotracing Model: Application to *Salmonella* in the Pork Slaughter Chain. *Risk Analysis*, 31 (9):1434-1450.
- Souci, L.; Fachmann, N.; Kraut, C. (1987). *Food Composition & Nutrition Tables*, 1986/87. 3rd. ed. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart. USA. pp. 345.
- SSA. (Secretaría de Salubridad y Asistencia) (2001). Ley general de salud. Diario oficial de la Federación, México, D.F.
- SSA. (Secretaría de Salubridad y Asistencia) (1998). Reglamento de la ley General de Salud en Materia de control Sanitario de Actividades, establecimientos productos y servicios.
- Torres- Vitela, M.R.; Mendoza, B.M.; Castro, R.J.; Gómez, A.C.A.; Garay, M.L.; Navarro, E.; Hidalgo, V. (2012). Incidence of *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 and Staphylococcal Enterotoxin in two types of mexican fresh cheeses. *Journal of Food Protection.* 1 (75):79-84.
- Tsepo, R.; Ngoma, L.; Mwanza, M.; Ndou, R. (2021). Prevalence and antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from beef carcasses at abattoirs in Northwest province. *Journal of Human Ecology.* 56:188-195.
- Valenzuela, V.C.; Pérez, M.P. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista Chilena de Nutrición* 43:12-22.

- Velázquez-Ordoñez, V.; Valladares-Carranza, B.; Tenorio-Borroto, E.; Talavera-Rojas, M.; Varela-Guerrero, J.A.; Acosta-Dibarrat, J. (2019). Nutrition in Health and Disease-Our Challenges Now and Forthcoming Time. London: IntechOpen.
- Winn, A.J.; Koneman, P.; Schreckenberger, W. (2008). Diagnostico Microbiológico texto y atlas en color. 6ª ed. Editorial Medical Panamericana. Buenos Aires, Argentina.
- Zabaleta, G. (2014). Evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana de *Salmonella* spp, aisladas en la cadena cárnica porcina en tres regiones del país. Tesis de Microbióloga. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.