



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE QUÍMICA

**SOLUCIÓN ELECTROLIZADA DE SUPEROXIDACIÓN: UNA
ALTERNATIVA EN LA DESINFECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA
CARNE DE DIFERENTES ESPECIES ANIMALES**

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACIÓN

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA:

ALCANTARA GARCÍA MIRANDA DAMARIS

Ciudad Universitaria, CDMX.2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE	
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	9
GENERAL	9
PARTICULARES	9
METODOLOGÍA	10
CAPITULO 1. Una alternativa para la desinfección de la carne	11
CAPITULO 2. Desinfectantes utilizados en la conservación de la carne 13	
2.1. Desinfectantes a base de cloro	13
2.2. Ácido peracético.....	14
2.3. Bacterias ácido-lácticas: Bacteriocinas.....	15
CAPITULO 3. Solución electrolizada de superoxidación: Definición.	17
CAPITULO 4. Historia de la solución electrolizada de superoxidación ...	19
CAPÍTULO 5. Proceso de producción y clasificación de la SES.	22
5.1. SES Ácida	24
5.2. SES ligeramente ácida	25
5.3. SES neutra.....	25
5.4. SES básica	26
CAPITULO 6. Mecanismo de acción antimicrobiana de SES	27
6.1. Bacterias y Mohos	27
CAPITULO 7. Impacto de la carga microbiológica sobre la calidad de la carne e incidencias de contaminación durante la cadena de frío	30
7.1. Calidad Fisicoquímica.....	30
7.1.1. pH.....	31
7.1.2. Aw	32
7.1.3. Potencial de oxido-reducción.....	32
7.2. Calidad sensorial de la carne.....	33
7.2.1. Color	33
7.2.2. Aroma	34
7.2.3. Textura	35
7.3. Contaminación en la cadena de frío.....	35

CAPITULO 8. Enfermedades transmitidas por carne (res, cerdo, aves y pescado).....	38
8.1. Infecciones por <i>Escherichia coli</i> O157:H7	39
8.2. Infección por <i>Listeria monocytogenes</i>	41
8.3. Infección por <i>Campylobacter jejuni</i> y <i>Campylobacter coli</i>	42
8.4. Infección por <i>Salmonella spp.</i>	44
8.5. Infección por <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	46
8.6. Infección por <i>Yersinia enterocolitica</i>	47
CAPITULO 9. Aplicaciones de SES en carne.....	50
9.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de bovino.....	50
CAPITULO 10. Aplicaciones de SES en carne de cerdo.....	55
10.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de cerdo.....	56
10.2. SES neutra en carne de cerdo.....	58
CAPITULO 11. Aplicaciones de SES en carne de aves.....	60
11.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de aves.....	60
11.2. SES neutra en carne de aves.....	62
CAPITULO 12. Aplicaciones de SES en carne de pescado	65
12.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de pescado	65
12.2. SES neutra en carne de pescado.....	68
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
CONCLUSIONES.....	75
REFERENCIAS	78

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 5.1. Clasificación de los diferentes tipos de Solución Electrolizada de Superoxidación.....	23
Tabla 7.1. Microorganismos de deterioro predominantes en carne congelada (Fuente: Dave & Ghaly, 2011).	36
Tabla 11.1. Evaluación sensorial de carne de pollo tratada con SES durante su almacenamiento a 5°C (Rahman et al., 2012).	61
Tabla 12.1. Evaluación de SES en pescado (Orejel & Cano Buendía, 2020)	68

Figura 5.1. Esquema de la generación de SES (Iram et al.,2021)	23
Figura 6.1. Mecanismos de acción ClO^- , HClO , H_2O_2 y O_3 de SES contra microorganismos. (Zhang et al., 2021).	29
Figura 8.1. Distribución de los serotipos de Salmonella en el mundo (Ferrari et al., 2019).....	45
Figura 9.1. Población sobreviviente de Escherichia coli O157: H7 (EC), Salmonella Typhimurium (ST), Listeria monocytogenes (LM) y mesófilos totales (TM) inoculados en la superficie de la carne de res después del tratamiento con agua electrolizada ácida (AC-EW) o a agua destilada estéril (DW) para diferentes períodos de tiempo. Las barras de error indican intervalos de confianza del 95%. El control son muestras inoculadas, pero no tratadas. Las barras con diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Al-Holy & Rasco, 2015).	51
Figura 9.2. Curvas de crecimiento de E. coli O157: H7 en carne de res; el control y tratada con SES ligeramente ácida (SAcEOW) y SES ácida (AcEOW) a diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 10, 15, 20, 25 y 30 ° C) (Ding et al., 2010)...	52
Figura 9.3. Cambios en las propiedades sensoriales de la carne de vacuno tratada y no tratada almacenada a 4°C: carne sin tratar (Control), polifenoles de té (Tpp), SES ligeramente ácida (SAEW) y agua (water). Las barras verticales representan el error estándar de la media ($n \geq 3$) (Sheng et al., 2018).....	53
Figura 10.1. Efecto de tratamientos (SES fuertemente ácida (StAEW), SES ligeramente ácida (SAcEW), ácido fumárico (FA), SES ligeramente ácida y ácido fumárico con calor suave (SAcEW+ FA) a 40 ° C) durante 3 min sobre el recuento bacteriano total en carne de cerdo almacenada a 4 y 10 ° C. Los valores mostrados son medias \pm desviación estándar de ensayos por triplicado (Mansur et al., 2015).	56
Figura 12.1. Escherichia coli O157: H7 (EC), Salmonella typhimurium (ST), Listeria monocytogenes (LM) y mesófilos totales (TM) inoculados en la superficie del pescado después del tratamiento con SES ácida (AC-EW) o agua destilada estéril (DW)) para diferentes períodos de tiempo. Las barras de error indican intervalos de confianza del 95%. El control son muestras inoculadas, pero no tratadas. Las barras con diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Al-Holy & Rasco, 2015).	66
Figura 12.2. Efecto del hielo sanitizado en la reducción de E. coli K-12 en la superficie de filetes de pescado	70
Figura 12.3. Efecto del hielo sanitizado en la reducción de L. innocua en la superficie de los filetes de pescado.	
Figura 12.4. Efecto del hielo sanitizado en la reducción de P. putida en la superficie de los filetes de pescado.	70

RESUMEN

El consumo de carne sana y segura es un tema importante y junto con la seguridad los consumidores también quieren consumir cortes de carne atractivos sensorialmente (Lonergan et al., 2019). La vida útil de la carne es el tiempo de almacenamiento hasta el deterioro, que es una condición compleja en la que la combinación de actividades biológicas y fisicoquímicas puede interactuar y hacer que el producto sea inaceptable para el consumo humano. Un nivel microbiano máximo aceptable y/o un olor y un sabor desagradables identifican el punto exacto de deterioro, que depende estrictamente de la cantidad inicial y los tipos de microorganismos contaminantes, su crecimiento, la oxidación de lípidos y las reacciones enzimáticas autolíticas (Comi, 2017). Desafortunadamente, el consumo de carne contaminada es una de las principales causas de brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos en el mundo (Lonergan et al., 2019). Los conservadores en el procesamiento de la carne pueden ayudar a evitar o retrasar el crecimiento microbiano, reduciendo las pérdidas económicas debidas al deterioro. Además, el crecimiento de microorganismos patógenos representa un peligro microbiológico para la salud de los consumidores (Molognoni et al., 2019). Por otro lado, el uso indebido de conservadores puede exponer a los consumidores a varios compuestos potencialmente tóxicos, que se incluyen entre los principales peligros químicos en los alimentos de la actualidad. La solución electrolizada de super oxidación "SES" es un compuesto desinfectante relativamente nuevo que ha mostrado eficacia contra microorganismos patógenos o de deterioro asociados con frutas y verduras, pero la información acerca de su uso en carnes aún es limitada (Fabrizio & Cutter, 2004). Por lo anterior resulta importante conocer su efecto desinfectante contra microorganismos patógenos tales como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni* y *Campylobacter coli*, *Salmonella spp.*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Yersinia enterocolitica*, que son los microorganismos patógenos más comunes en contaminación de carne fresca. Esta nueva tecnología de limpieza e inactivación cuenta con muchas ventajas como: generación con un método ecológico a partir de NaCl y agua destilada (Hricova et al., 2008). Es potencialmente aplicable a alimentos y procesamientos no térmicos, no representa una amenaza para los humanos después de su uso, capacidad de generación *in situ*, lo que evita los problemas de cloración durante el transporte, almacenamiento y manipulación, la capacidad de inactivación de amplio espectro con propiedades no selectivas, que evita el aumento de la resistencia bacteriana. Por lo anterior, resulta útil definir su efectividad y conveniencia como conservante de los diferentes tipos de SES en carne fresca (Orejel & Cano Buendía, 2020).

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por alimentos “ETA’s” son la principal causa de enfermedad y muerte en los países menos desarrollados, mientras que en países desarrollados son responsables de altos niveles de pérdida de productividad, costos asociados al uso de los servicios de salud y a la implementación y monitoreo de políticas de inocuidad de los alimentos. Un 70% de las diarreas se originan por la ingestión de alimentos contaminados con microorganismos o toxinas. Se han descrito cerca de 250 agentes causantes de ETA’s, que incluyen bacterias, virus, hongos, parásitos, priones, toxinas y metales pesados (Carrasco et al., 2017).

Los alimentos involucrados con más frecuencia en las epidemias y casos de enfermedades transmitidas por ETA’s, son los de origen animal, por lo que buscar información acerca del uso de compuestos desinfectantes que los permitan proteger de microorganismos que alteren la calidad fisicoquímica, características sensoriales y, principalmente, la inocuidad, toma gran importancia para el sector agroalimentario (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Los animales productores de carne como reses, aves, cerdos y pescados son los principales reservorios de patógenos transmitidos por los alimentos, como las especies de *Campylobacter*, las cepas de *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* (OPS/OMS, 2020). Los patógenos transmitidos por los

alimentos causan millones de casos de enfermedades esporádicas y complicaciones crónicas, así como brotes en muchos países.

La seguridad de la carne se puede ver afectada por diversos factores tales como la acción de los patógenos lo cual puede repercutir sobre la calidad (Lianou et al., 2017). Esto ha dado lugar a desafíos para la industria cárnica, exigiendo que mantenga la calidad y la seguridad en toda la cadena de suministro, por lo que se han utilizado aditivos alimentarios como conservadores. Sin embargo, la demanda de los consumidores de alimentos mínimamente procesados ha impulsado la exploración de nuevas formas de conservación, asegurando una mayor vida útil y conservando las cualidades organolépticas (Nair et al., 2019).

Las soluciones electrolizadas de superoxidación (SES) son soluciones con efecto desinfectante y esterilizante que han demostrado ser efectivas en frutas y vegetales, pero no se conoce su uso en carne. En la industria cárnica se han empleado numerosas técnicas para la eliminación de patógenos; sin embargo, algunas de ellas poseen desventajas por su alto costo, permanencia de residuos químicos, cambios en la calidad sensorial y nutricional, baja eficacia o efectos adversos (Rahman et al., 2016). La solución electrolizada (SES) se acepta ampliamente como un desinfectante práctico y conveniente, porque utiliza sustancias de fácil acceso (NaCl) y se produce con procesos sencillos (Ampiauw et al., 2021). Dado que SES ha ganado una inmensa popularidad debido a su facilidad de producción,

aplicación y eficacia como agente sanitizante, y la contaminación microbiana en carnes rojas y aves de corral es un tema crucial relacionado con la seguridad alimentaria, es importante conocer su posible uso como un agente sanitizante y sus efectos en la calidad de ésta.

OBJETIVOS

GENERAL

Encontrar los usos de la solución electrolizada de superoxidación en carne fresca de diferentes especies a nivel mundial, conocer los métodos de obtención de la SES, su aplicación y definir su eficiencia como método alternativo para alargar la vida de anaquel de la carne.

PARTICULARES

Investigar en diferentes publicaciones científicas el efecto del uso de las SES como un desinfectante y conservador que permita conservar la calidad y vida de anaquel en carne (res, ave, cerdo y pescado).

Conocer el mecanismo de acción de la SES contra microorganismos, tales como bacterias y mohos.

Conocer cuáles son los tipos de microorganismos patógenos más frecuentes en la carne fresca de las cuatro diferentes especies y con respecto a ello, definir las condiciones y tipo de SES que presente mayor efectividad como desinfectante en la carne de res, cerdo, aves y pescado.

Definir cuál es el efecto sobre las características sensoriales de la carne basándose en la información que se encuentre los artículos y determinar cuál es el tipo de SES que afecta en menor grado la calidad sensorial de la carne fresca.

METODOLOGÍA

La investigación de la definición, métodos de elaboración, clasificación, mecanismo de acción y usos de la solución electrolizada de superoxidación (SES) se realizó por medio de la revisión de artículos científicos, libros y revistas científicas en inglés y español, utilizando como fuentes electrónicas tales como: " ScienceDirect", "Scopus", "SciELO", artículos del "Multidisciplinary Digital Publishing Institute"(MDPI), "Springer"y "National Center for Biotechnology Information" (NCBI) y Bidi UNAM, utilizando palabras clave como "solución electrolizada de superoxidación", "electrolyzed water", "conservación de la carne", para lograr definirla y "meat", "microbiology", "antimicrobial", "preservatives", "conservation", "storage", "shelf life", "conservadores", "vida útil de la carne", para conocer el mecanismo de acción sobre los microorganismos.

De la misma manera se realizó la investigación de información en tesis, trabajos de investigación y publicaciones científicas referente a los usos de la SES en la carne de diferentes especies.

CAPITULO 1. Una alternativa para la desinfección de la carne.

Dentro de la industria alimentaria se han empleado numerosas técnicas para la eliminación de agentes contaminantes en cada una de las cadenas de la producción. Sin embargo, algunas de estas técnicas poseen desventajas por su alto costo, permanencia de residuos químicos, baja eficacia o efectos adversos (Hricova et al., 2008).

En los últimos años, la solución electrolizada de superoxidación "SES" como nuevo desinfectante ha ganado un interés creciente. Hasta la fecha, numerosos estudios han demostrado la fuerte eficacia bactericida de SES en varios microorganismos, incluidas bacterias, mohos, virus, etc. (Ding et al., 2019a; Han et al., 2018; Hricova et al., 2008; Y.-R. Huang et al., 2006; S. Rahman et al., 2016). Además, SES se ha aplicado para la descontaminación microbiana de productos alimenticios como verduras, frutas, aves, carnes, mariscos y pescados. Aparte de los alimentos, SES se ha propuesto como un nuevo desinfectante de superficies que estén en contacto con alimentos (por ejemplo, tablas de cortar, cubiertos, platos, etc.). El uso de agua electrolizada, como un proceso no térmico para la inactivación microbiana, se presenta como una opción muy interesante ya que, a diferencia de los desinfectantes clorados tradicionales, la generación de los agentes inactivantes se produce directamente en el agua con NaCl (Y. R. Huang et al., 2008; Tabernero de Paz et al., 2013). Por lo que la SES ha resultado ser

una alternativa viable gracias a sus bajos costos y sencillos métodos de producción y aplicación en los alimentos.

En el presente trabajo se revisaron las diferentes publicaciones donde se ha estudiado el efecto del uso de las SES como un desinfectante y conservador que permite conservar la calidad y vida de anaquel en carne (res, ave, cerdo y pescado) por más tiempo, además conocer los cambios en las características sensoriales.

Se realizó la investigación y recopilación de información bibliográfica de revistas, artículos de diversas fuentes reconocidas donde se recabe la información existente en relación a la carne de mayor consumo a nivel mundial, la incidencia de ETA's causadas por el consumo de la carne y como la aplicación de la solución electrolizada de superoxidación para mejorar la calidad microbiológica e incrementar la vida útil de la carne de diferentes especies, así como conocer los efectos sobre las características sensoriales como color, aroma, etc.

Como resultado de la investigación se espera encontrar los usos de la solución electrolizada de superoxidación en carne de diferentes especies a nivel mundial, conocer los métodos de aplicación y la eficiencia como método alternativo para alargar la vida de anaquel de la carne de este tipo de matrices alimentarias.

CAPITULO 2. Desinfectantes utilizados en la conservación de la carne

La composición química de la carne es un medio ideal para el crecimiento y propagación microbiana. Aunque el deterioro de la carne puede ocurrir en ausencia de microorganismos, el crecimiento microbiano es el factor más importante en relación con la calidad e inocuidad (Zhou et al., 2010), por lo que los conservadores empleados en el procesamiento de la carne pueden ayudar a evitar o retrasar el crecimiento microbiano, reduciendo las pérdidas económicas debidas al deterioro y evitando el crecimiento de microorganismos patógenos que representan un peligro para la salud de los consumidores (Molognoni et al., 2019).

2.1. Desinfectantes a base de cloro

Los desinfectantes a base de cloro, como el hipoclorito de sodio (NaClO) y el dióxido de cloro, son los más utilizados en las plantas de procesamiento de carne (Nair et al., 2019). Su mecanismo de acción antimicrobiana consta de la oxidación de los componentes de la membrana celular, interaccionan con los componentes de las estructuras externas de los mismos para destruirlos e impedir su renovación; perfora la pared celular del microorganismo patógeno causándole pérdida del protoplasma y la destrucción del microorganismo, penetra en la barrera osmótica de la membrana de las células y al lograrlo desnaturalizan las proteínas e interrumpen reacciones metabólicas específicas que son vitales para esas células. (Lara Pérez, 2015). Estas sustancias son utilizadas ampliamente por su fácil uso y bajo precio,

pero se han observado subproductos tóxicos, tales como trihalometanos (THM) que son un grupo de cuatro compuestos (cloroformo, fluoroformo, iodoformo y bromoformo) y ácidos halogenados. Estos compuestos han sido definidos como cancerígenos y se consideran un problema relevante para la salud de los consumidores, por lo que el descubrimiento de desinfectantes alternativos para la conservación de carnes está en curso (Heredia & García, 2018; Sheng et al., 2018; H. Wang et al., 2019).

2.2. Ácido peracético

El ácido peracético ha demostrado ser uno de los compuestos más eficientes aprobados para su uso en sistemas cárnicos (Jessen & Lammert, 2003). Se produce en una mezcla de equilibrio de ácido acético y peróxido de hidrógeno, es un compuesto antimicrobiano muy eficaz, incluso más que el peróxido de hidrógeno. Las regulaciones del Departamento de Agricultura de EE. UU. Establecen que el ácido peracético puede aplicarse directamente a los alimentos que están certificados como orgánicos. Su alta eficacia, sin generar residuos tóxicos, fácil aplicación (en solución acuosa) y costo relativamente bajo han hecho del ácido peracético un antimicrobiano cada vez más popular en muchas industrias relacionadas con alimentos y bebidas (Wang et al., 2020). La mezcla de ácido peracético con peróxido de hidrogeno ha sido aprobada por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA) como desinfectantes eficaces en superficies en contacto con alimentos y para el contacto directo de alimentos con frutas, verduras y carnes, ya que

han presentado un efecto sinérgico que les permite alcanzar mayor efecto bactericida a mayor tiempo de contacto (Gonçalves Lemos et al., 2020).

2.3. Bacterias ácido-lácticas: Bacteriocinas

El empleo de cepas bioconservadoras de bacterias lácticas para desinfectar carne, por su capacidad de producir compuestos antimicrobianos como las bacteriocinas (Pérez, H. et al., 2002), ha demostrado su efectividad inhibiendo microorganismos no deseados por la formación de poros en la membrana citoplásmica de células sensibles, consiguiendo alargar la vida útil de los alimentos y dar seguridad frente a bacterias que puedan afectar la salud del consumidor (Vasquez & Suárez, 2009).

Las bacteriocinas producidas por bacterias ácido lácticas (BAL), en el caso de la carne (que es un alimento que no puede ser sometido a pasterización antes de la adición de las cepas iniciadoras) deben ser capaces de competir con la microflora natural, no deben tener impacto en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del alimento, no debe producir gas ni exopolisacáridos para evitar el inflamamiento en el empaque debido a la acumulación de gases y la formación de viscosidades en las superficies de la carne (Vasquez & Suárez, 2009). Cabe recalcar que la producción de bacteriocinas con un espectro de inhibición relativamente amplio es propia de bacterias de origen alimentario incluidas las de la carne y sus derivados. Con la intención de producir alimentos mínimamente procesados, actualmente se están utilizando biopreservantes en la industria alimentaria

para mejorar el tiempo de conservación y garantizar la calidad e inocuidad de la carne, intentando mantener sus características nutrimentales y sensoriales sin afectaciones (FSIS, 2021).

CAPITULO 3. Solución electrolizada de superoxidación: Definición.

La solución electrolizada de super oxidación "SES" se produce por la electrolisis de soluciones salinas (NaCl) diluidas en una cámara de electrólisis, que puede estar o no dividida por un diafragma o membrana, que separa el ánodo y el cátodo. Durante la electrólisis, el cloruro de sodio se disuelve en agua desionizada y se disocia en Cl^- y Na^+ . Mientras tanto, las moléculas de agua se electrolizan y forman el ión hidróxido (OH^-) así como iones de hidrógeno (H^+). Los iones con carga negativa (Cl^- y OH^-) se mueven al ánodo para ceder los electrones y formar oxígeno gaseoso (O_2), cloro gaseoso (Cl_2), ácido clorhídrico (HCl), ion hipoclorito (OCl^-) y ácido hipocloroso (HOCl). Los iones de carga positiva (H^+ , Na^+) se mueven al cátodo para obtener electrones y se convierten en gas hidrógeno (H_2) e hidróxido de sodio (NaOH) (Shiroodi & Ovissipour, 2018). Al final del proceso la solución resultante se puede clasificar en agua electrolizada ácida, alcalina o neutra. El agua electrolizada neutra se forma mezclando las soluciones electrolizadas ácidas y alcalinas o usando una cámara de electrólisis sin diafragma o membrana (Tabernero de Paz et al., 2013). La SES se puede producir en el sitio y es fácil de añadir la concentración de cloro requerida por dilución. En comparación con los métodos de desinfección convencionales, las ventajas de las SES incluyen tiempos de tratamiento más cortos, aplicación conveniente, alta eficiencia y bajo costo (Rahman et al., 2016).

Existen varios factores como la corriente eléctrica, el caudal de agua, la concentración de sal, los materiales de los electrodos, condiciones de almacenamiento, dureza del agua y la temperatura del agua, que pueden afectar las propiedades fisicoquímicas de las SES y su efecto de desinfección (Kaczmarek et al., 2019).

CAPITULO 4. Historia de la solución electrolizada de superoxidación

La tecnología de electrólisis del agua se desarrolló en el siglo XIX, sus primeros usos fueron en la industria de las bebidas carbonatadas y en la de producción de hipoclorito de sodio. El concepto de agua electrolizada se desarrolló originalmente en Rusia, donde la tecnología se ha utilizado para la descontaminación y la regeneración del agua. Sin embargo, la investigación de la SES comenzó en Japón alrededor de 1931 y su aplicación y popularidad en la agricultura en la década de 1950. En 1960, el agua se aplicó a la atención médica en pacientes y en 1966, el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón declaró que las SES eran eficaces y tenían "efectos curativos" para tratar padecimientos, como indigestión, diarrea crónica, fermentación gastrointestinal anormal e hiperacidez (Rahman et al., 2016).

En 2002, se autorizó el uso de agua con ácido hipocloroso en aditivos alimentarios designados.

Zeng y Zhang (2010) clasificaron la historia del desarrollo del agua electrolizada en cinco etapas:

- Descubrimiento de fenómenos de electrólisis del agua (1800-1920).
- Industrializado para la producción de hidrógeno para aplicaciones industriales como la producción de amoníaco y el refinado de petróleo (1920-1970).

- Innovaciones y mejoras sistemáticas en la membrana de intercambio de protones del sistema para responder a las demandas militares y espaciales (década de 1970 hasta la actualidad).
- Desarrollando y mejorando rápidamente el sistema de uso de aguas electrolizadas en la industria médica y alimentaria (presente).
- Unidades y empresas de producción de agua neutra electrolizada (NUEVAS) en rápido aumento debido a la enorme demanda en la industria alimentaria (2010-a la actualidad)(Shiroodi & Ovissipour, 2018).

Recientemente, en 2017, la Administración de Drogas y Alimentos (FDA por sus siglas en inglés) también autorizó el uso de ácido hipocloroso (generado electrolíticamente en el sitio) en superficies de contacto con alimentos. Además, la administración de estandarización China publicó una serie de criterios en 2020, relacionados con el agua con ácido hipocloroso, que se puede utilizar para la piel humana, las manos y las membranas mucosas (Yan & Daliri, 2021). Con los avances tecnológicos recientes, la SES ha ganado popularidad. Debido a estas ventajas, ahora se dispone de mejores equipos para producir SES y se ha convertido en una alternativa prometedora.

Hoy en día todas la SES presenta una alta eficacia antimicrobiana en diferentes campos como alimentos y superficies de acero, así como agricultura, medicina y odontología sin irritación. La SES ha sido aprobada por las normativas japonesas, estadounidenses y chinas como un sustituto

perfecto de los productos químicos nocivos y como una nueva solución sostenible y ecológica para su uso en los hospitales y en el hogar. En los últimos años, se ha observado una tendencia de crecimiento continuo de la comercialización de SES en todo el mundo. Muchas empresas tales como Clortech ®, Avenova ® , Ecasol ™, MICROSAFE ® y Microcyn ®(Yan & Daliri, 2021) y en México Esteripharma®, afirman producir productos basados en SES que tienen un efecto antimicrobiano notable, mientras que son seguros de usar alrededor de la nariz, la boca y los ojos.

CAPÍTULO 5. Proceso de producción y clasificación de la SES.

La SES es producida por la electrolisis de una solución saturada de cloruro de sodio o una mezcla de KCl y MgCl₂ diluida en agua (Gómez- Espinosa, 2018), que se lleva a cabo en una cámara de electrolisis conformada por un ánodo, un cátodo y que puede estar dividida o no por un diafragma (también llamados “membrana de intercambio iónico”) que tiene como objetivo separar dos distintos tipos de SES, ya que aseguran el contacto iónico (Na⁺, Cl⁻, OH⁻, H⁺) con los electrodos y evita que los gases del producto se mezclen (Brauns et al., 2021).

A la solución salina se le induce una corriente eléctrica (~ 9-10 V de potencial eléctrico), a consecuencia de ello, los electrones se agitan, el NaCl se disuelve en agua desionizada, que se disocia en Cl⁻ y Na⁺. Mientras tanto, las moléculas de agua se electrolizan y forman hidróxido (OH⁻) e iones de hidrógeno (H⁺). Los iones con carga negativa (Cl⁻ y OH⁻) Se mueven al ánodo para ceder los electrones y formar oxígeno gaseoso (O₂), cloro gaseoso (Cl₂), ácido clorhídrico (HCl), ion hipoclorito (OCl⁻) y ácido hipocloroso (HOCl). Los iones de carga positiva (H⁺, Na⁺) se mueven al cátodo para obtener electrones y convertirse en gas hidrógeno (H₂) e hidróxido de sodio (NaOH) produciendo dos tipos de SES: Ácida en el ánodo y alcalina del lado del cátodo (Ampiw et al., 2021; Ding et al., 2019b; Shiroodi & Ovissipour, 2018; Tabernero de Paz et al., 2013)(**Figura 5.1.**).

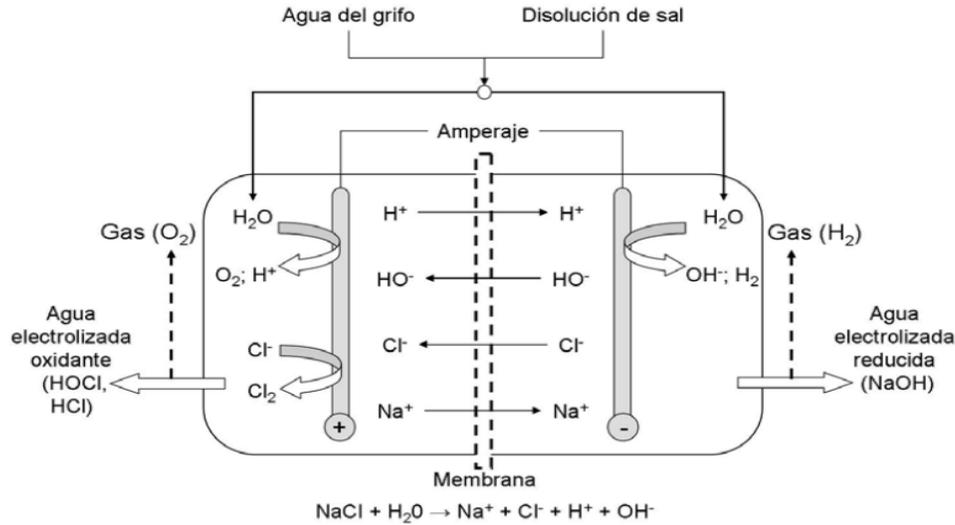


Figura 5.1. Esquema de la generación de SES (Iram et al.,2021)

Para la producción de SES neutra se utiliza una cámara de electrólisis sin la membrana de separación entre los electrodos de ánodo y cátodo. Debido a esta geometría en la cámara de celda única, la neutralización ocurre cuando los iones de hidróxido (OH^-) del polo negativo entran en contacto con los protones (H^+) del polo positivo y es entonces que se produce SES neutra con un pH de 7-8.

Por último, el agua electrolizada ligeramente ácida (SAEW por sus siglas en inglés) con un pH de 5,0 a 6,5 se produce mezclando SES ácida y neutra en diferentes proporciones, según los objetivos propuestos (Hricova et al., 2008). En la **Tabla 5.1.** se presenta la clasificación de SES.

Tabla 5.1. Clasificación de los diferentes tipos de Solución Electrolizada de Superoxidación

Solución	pH	ORP	Contenido	Referencias
		(Potencial Ox-Red)	de Cl (mg/L)	

<i>Ácida</i>	2.2-2.7	> 1000 mV	20 – 60	(Shiroodi & Ovissipour, 2018; Sun et al., 2022)
<i>Ligeramente ácida</i>	5.0-6.5	> 850 mV	10 – 30	(Iram et al., 2021a; Sun et al., 2022)
<i>Neutra</i>	6.5-7.5	750 ~ 1000 mV	50	(Shiroodi & Ovissipour, 2018; Sun et al., 2022)
<i>Alcalina</i>	0.0-14.0	800 ~ -900 mV	NA	(Sun et al., 2022)

5.1. SES Ácida

Debido al bajo pH, alto ORP (potencial oxido- reducción) y la presencia de HOCl se produce un efecto sinérgico que le brinda fuertes propiedades desinfectantes que alteran la estructura de la membrana celular de los microorganismos. A diferencia de los desinfectantes convencionales, la SES ácida no solo tiene un mejor efecto bactericida, sino también un impacto menos adverso en la salud pública y el medio ambiente (Du et al., 2016). Si bien la mayor eficacia antimicrobiana de las SES ácida es deseable para la desinfección de productos alimenticios, se han planteado preocupaciones sobre la calidad y las propiedades nutritivas cuando se utilizan compuestos sanitizantes a pH subóptimos (2.2-2.7)(Ampiw et al., 2021). La volatilidad de la SES ácida también permite la pérdida de gas Cl₂, lo que a su vez reduce su eficacia antimicrobiana (Al-Holy & Rasco, 2015; Ding et al., 2016; Du et al., 2016; Y. R. Huang et al., 2008).

5.2. SES ligeramente ácida

En general, se acepta que el alto POR de SES podría influir significativamente en su poder de desinfección al penetrar las membranas externas e internas, y el bajo pH también es un factor principal en la eficacia bactericida. La solución electrolizada ligeramente ácida (SELA) tiene un valor de POR relativamente más bajo que la SES ácida (menos de 1000 mV), un pH cercano a la neutralidad pH 5.0-6.5 y HClO como el principal compuesto de cloro. Hasta la fecha, hay muy pocos estudios que investiguen el mecanismo de desinfección de esta solución (Ding et al., 2016). Gracias a su pH ligeramente ácido esta SES se convierte en un desinfectante preferido sobre SES ácida ya que es menos corrosivo (Ampiauw et al., 2021).

5.3. SES neutra

Este tipo de SES se genera como la SES ácida, pero parte del producto formado en el ánodo se redirige luego a la cámara del cátodo. Debido a su pH neutro, no contribuye tan agresivamente como la SES ácida a la corrosión del equipo de procesamiento o la irritación de las manos, y también es más estable ya que la pérdida de cloro se reduce significativamente (Abadias et al., 2008; Lin et al., 2020), es un nuevo sistema de desinfección que podría representar una alternativa eficaz con actividad antimicrobiana, no corrosiva, sin contaminar el medio ambiente, producción "in situ" a bajo costo y manejo seguro. En bacterias su mecanismo de acción se atribuye al efecto de oxidación de los grupos sulfhidrilo (-SH) y aminoácidos de la pared

bacteriana, con lo que se afecta el proceso de respiración y nutrición de los microorganismos, produciéndose oxidación de los componentes respiratorios, inhibición en la síntesis de proteínas, alteración en la producción de energía (ATP), rompimiento de las cadenas de RNA y represión en la síntesis de moléculas del metabolismo celular (Cabello Gutiérrez, et al., 2010; Hernández-Pimentel et al., 2020) Debido a la concentración de iones y a su estabilidad química, el agua electrolizada con pH neutro, puede considerarse como no tóxica para las células eucarióticas, incluidas las del organismo humano (Tabernerero de Paz et al., 2013).

5.4. SES básica

La SES alcalina o básica tiene un alto potencial negativo y una fuerte capacidad de reducción (Lin et al., 2020). Debido a estas características únicas, puede ingresar al espacio intercelular y poseer una fuerte penetración de agentes activos de cloro y dañar las paredes celulares al desestabilizar los compuestos poliméricos extracelulares alrededor de las envolturas celulares bacterianas. El POR extremadamente bajo de la solución podría alterar las membranas celulares y provocar la muerte de microbios. Además, tiene el potencial de reducir los radicales libres basándose en su fuerte reducción de POR (Ding et al., 2019b; Iram et al., 2021a).

CAPITULO 6. Mecanismo de acción antimicrobiana de SES

La solución electrolizada de superoxidación ha sido reconocida por su eficacia contra microorganismos patógenos y de descomposición en una amplia gama de alimentos frescos como frutas y vegetales (Sun et al., 2022). Existen muchas teorías y estudios donde la idea general es la misma: El efecto sinérgico de las concentraciones de cloro disponibles, pH y potencial de oxidación y reducción son los responsables de su eficiencia bactericida de amplio espectro (Iram et al., 2021a; Zhao et al., 2021).

6.1. Bacterias y Mohos

El mecanismo de acción frente a las bacterias de la SES, en algunos casos se le atribuye al efecto de la oxidación ya que daña la membrana de la célula, creando un desbalance en los procesos metabólicos causando su muerte (Y. R. Huang et al., 2008). En general, las bacterias suelen crecer en un intervalo de pH de 4 a 9. Las bacterias aeróbicas crecen sobre todo en un intervalo de potencial oxidante de +200 a +800 mV, mientras que las bacterias anaeróbicas crecen bien en -700 a -200 mV (Alvaro Bresciano, 2018).

Las SES ataca múltiples objetivos celulares (membrana externa y componentes intracelulares) (Tabernero de Paz et al., 2013; W. Zhang et al., 2021). En primer lugar, la morfología de las superficies celulares cambia de suave, firme y brillante a rugosa, encogida e incluso lisada después de ser tratada con la solución. Mientras tanto, las barreras protectoras bacterianas (pared celular y membrana) son atacadas y destruidas por

especies de cloro activo ClO^- , lo que incrementa la permeabilidad de la membrana y la fuga de compuestos intracelulares (K^+ , proteínas y ADN) (Zhao et al., 2021). De este modo se afecta al proceso de respiración y nutrición de los microorganismos, produciéndose oxidación de los componentes respiratorios, inhibición de la síntesis de proteínas, ruptura de las cadenas de ARN y represión en la síntesis de moléculas del metabolismo celular, con disminución de la producción de ATP (Kaczmarek et al., 2019; Sun et al., 2022).

El requisito previo para que las sustancias de cloro activo tengan una mejor capacidad bactericida es que puedan atravesar con facilidad las paredes y las membranas celulares de los microorganismos. La hidrofobicidad de la bicapa lipídica de la membrana celular hace difícil para el ClO^- pasar a través de la membrana y entrar en la célula libremente. Por lo tanto, el ClO^- tiene poca capacidad bactericida y los mecanismos del ClO^- se reflejan principalmente en la lisis de la pared celular externa y la membrana celular de los microorganismos (**Figura. 6.1.**) (Iram et al., 2021a; W. Zhang et al., 2021).

El pH bajo hace que las células sean más susceptibles al cloro activo y como resultado, pueden entrar más moléculas de HOCl a través de la membrana celular, debido a la neutralidad y el tamaño pequeño de la molécula, esta ingresa libremente al interior del microorganismo a través de la difusión pasiva y luego destruye directamente el ácido nucleico y la proteína del

microorganismo desde el interior (**Figura 6.1.**)(Y. R. Huang et al., 2008; S. Rahman et al., 2016; W. Zhang et al., 2021). Por lo tanto, el HClO tiene una capacidad bactericida más fuerte que el ClO^- . Además, existen fuertes óxidos de sustancias de oxígeno activo como O_3 y H_2O_2 en SES, que también puede dañar los componentes lipídicos y las proteínas de la membrana celular (**Figura 6.1.**)(Iram et al., 2021b; W. Zhang et al., 2021).

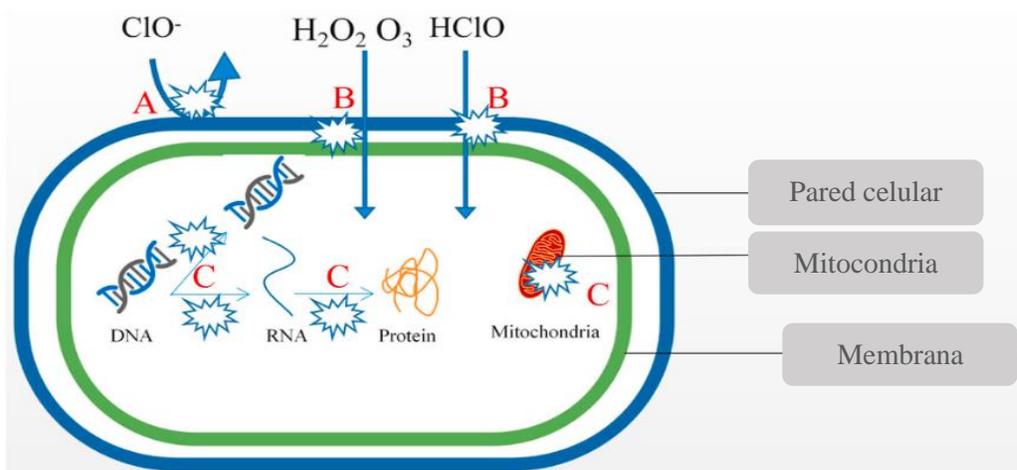


Figura 6.1. Mecanismos de acción ClO^- , HClO , H_2O_2 y O_3 de SES contra microorganismos. (Zhang et al., 2021).

Por otro lado, la efectividad de la SES frente a mohos y levaduras puede estar influenciada por varios factores como el tipo de microorganismo, la fuente del microorganismo (de la colección de cultivo o aislado natural), pH, contenido de cloro activo "ACC", POR, tiempo de exposición, temperatura y carga fúngica inicial (Gonçalves Lemos et al., 2020; Villarreal-Barajas et al., 2021).

CAPITULO 7. Impacto de la carga microbiológica sobre la calidad de la carne e incidencias de contaminación durante la cadena de frío.

Las carnes se consideran un medio potencial para el crecimiento microbiano debido a que posee valores de pH y A_w generalmente compatibles con el desarrollo microbiano (Comi, 2017; Das et al., 2019; Zagorec & Champomier-Vergès, 2017). Las principales fuentes de patógenos en la carne son el propio animal, manipuladores humanos, equipos en contacto, fuentes ambientales y agua utilizada en la limpieza (Ivanova et al., 2021; Mohammed et al., 2021). Por otro lado, existen también los microorganismos de deterioro que afectan las características fisicoquímicas, nutrimentales y sensoriales que son importantes para evaluar su consumo y, en particular, la inocuidad (Faustman & Suman, 2017). La suma de la interacción entre el crecimiento microbiano y las actividades enzimáticas de la carne a lo largo del tiempo generan un impacto negativo en la calidad fisicoquímica y sensorial por la presencia de compuestos que se generan en la etapa de deterioro, por lo que es importante conocer los cambios que ocurren con el desarrollo microbiano.

7.1. Calidad Fisicoquímica

El estado fisicoquímico de la carne influye en la cantidad de microorganismos que pueden crecer en ella, por ejemplo, moler carne aumenta la superficie de contacto, libera humedad y nutrientes de las fibras musculares y distribuye los microorganismos externos por toda la carne. Las propiedades

químicas de la carne, como el pH y el contenido de humedad, afectan la capacidad de los microorganismos para crecer en ella (Ivanova et al., 2021) por lo que estos factores están directamente relacionados con su desarrollo.

7.1.1. pH

El deterioro en la carne es evidente con valores de pH más allá del pH normal (5.4 – 5.6), un pH de 5.6 o superior permite un crecimiento bacteriano sustancial, y cuanto mayor es el valor de pH, mayor es el crecimiento (Lonergan et al., 2019). Se desarrollan sabores desagradables, gases y biofilms debido a la adhesión, colonización y crecimiento de los microorganismos que descomponen grasas, proteínas y otros nutrientes (Carpentier & Cerf, 1993; Das et al., 2019). La glucosa residual y las fracciones con nitrógeno no proteico son las primeras moléculas utilizadas por los microorganismos de deterioro. En condiciones aeróbicas ambos compuestos se oxidan, mientras que en los anaeróbicos la glucosa se fermenta y se convierte en lactato, gluconato, glucosa-6-fosfato, piruvato, propionato, formiato, etanol, acetato, acetoína, diacetilo, acético, isobutírico, isovalérico y ácidos 2-metilbutíricos, 3-metilbutanol, 2-metilpropanol (Comi, 2017). La producción de ácido, el cambio del pH de la carne y la degradación de componentes estructurales, en consecuencia, generan el deterioro de la carne (Comi, 2017; Dave & Ghaly, 2011).

7.1.2. A_w

La carne fresca generalmente presenta valores de A_w de aproximadamente 0.98 ± 0.99 un A_w muy por encima del valor mínimo para el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos. En cuanto a la actividad del agua para el crecimiento microbiano, las bacterias requieren una a_w de 0.88, las levaduras 0.8 y los mohos 0.7. En consecuencia, la carne y productos cárnicos frescos tienen suficiente a_w para las tres clases de microorganismos. Por esta razón, su vida útil es limitada. (Comi, 2017; Lonergan et al., 2019)

7.1.3. Potencial de oxido-reducción

Para alcanzar un crecimiento óptimo, algunos microorganismos necesitan condiciones de reducción (ausencia de oxígeno) y otros de oxidación (presencia de oxígeno). Los microorganismos aerobios se verán favorecidos por un alto potencial de óxido-reducción (reactividad oxidante), en contraste los potenciales bajos (reactividad reductora) favorecerán el crecimiento de los microorganismos anaerobios; mientras que los facultativos pueden crecer en cualquiera de estas condiciones (Lonergan et al., 2019; Marcelo Signorini, 2007). Después de la muerte el potencial de oxido-reducción de la musculatura y el aporte de oxígeno (a partir del aire) son máximos en la superficie (condición oxidante) de la carne y mínimos en sus porciones internas, en donde predomina la condición reductora, por lo que la superficie

de la pieza será la parte más propensa a la proliferación de microorganismos (Comi, 2017; Zagorec & Champomier-Vergès, 2017).

7.2. Calidad sensorial de la carne

El deterioro microbiano de la carne debe considerarse un proceso complejo, que depende tanto de los microorganismos como de sus interacciones bióticas y abióticas. El deterioro que produce cambios en las características sensoriales se producen por el consumo de los componentes de la carne por parte de los microorganismos que cuentan con varias rutas metabólicas que conducen a moléculas dañinas identificadas que pueden afectar el color, la textura y / o el olor y sabor de la carne (Zagorec & Champomier-Vergès, 2017).

7.2.1. Color

La mayoría de las modificaciones de color se presentan principalmente por reacciones químicas de la mioglobina, que pueden alterar el color del producto sin alterar el aspecto sanitario de la carne, por lo que no todos los defectos de color son de origen microbiano. Sin embargo, se sabe que algunas especies afectan más específicamente al color, tal es el caso de miembros de la especie *Pseudomonas fluorescens*, que presentan la capacidad para producir una amplia gama de pigmentos (azul / verde / amarillo)(Zagorec & Champomier-Vergès, 2017).

La decoloración verde de la carne fresca se debe, en general, a la formación de sulfuro de hidrógeno o peróxido de hidrógeno; estos dos compuestos son

producidos por bacterias y reaccionan con la mioglobina. Las especies bacterianas productoras de sulfhidrilo, como *Pseudomonas mephitica*, pueden generar sulfuro de hidrógeno en la carne, mientras que las bacterias ácido lácticas generan peróxido de hidrógeno en condiciones aeróbicas. La reacción del sulfuro de hidrógeno con el hierro hemo ferroso en la mioglobina conduce a la formación de un pigmento verde de sulfomioglobina (Faustman & Suman, 2017).

7.2.2. Aroma

La primera indicación de deterioro de la carne es la producción de malos olores, que es evidente cuando el número de microorganismos alcanza 10^7 UFC/ cm^{-2} (Kwaasi, 2003). Algunos de los ejemplos de sustancias productoras de aromas desagradables son la metilamina, dimetilamina y trimetilamina que han sido detectadas comúnmente durante el deterioro bacteriano del pescado. El metabolismo microbiano produce ácidos grasos, cetonas y alcoholes, que exhiben una variedad de olores afrutados y dulces. La generación de sulfuro de hidrógeno, metilsulfuro y dimetilsulfuro exhibe olores putrefactos y sulfurosos. Las diaminas, cadaverina y putrescina (los subproductos metabólicos de la carne cisteína, cistina, metionina, sulfuro de hidrógeno y dimetilsulfuro) se han estudiado como indicadores de la descomposición de la carne (Dave & Ghaly, 2011; Zagorec & Champomier-Vergès, 2017). La concentración, los umbrales olfativos y el equilibrio de los

compuestos volátiles y no volátiles determinan el grado de deterioro de la carne (Comi, 2017).

7.2.3. Textura

Dado que sólo un número limitado de microorganismos realmente invade el músculo y el crecimiento microbiano se lleva a cabo principalmente en la superficie, el segundo defecto sensorial producido por el crecimiento microbiano es la textura viscosa de la carne. De hecho, se ha reportado en el pasado que el efecto de deterioro de algunas especies radica en su capacidad para producir biofilms (Zagorec & Champomier-Vergès, 2017). Los biofilms son comunidades complejas de microorganismos que crecen embebidos en una matriz orgánica polimérica larga e indeseable, autoproducida por estos microorganismos y adherida a la superficie de carne. La producción de biofilms da una ventaja a algunas bacterias, ya que constituye una capa protectora para mantener a las bacterias húmedas. *Weissella viridescens* puede ser la causa de la formación de biofilm y de que la carne se ponga verde (Iulietto et al., 2015).

7.3. Contaminación en la cadena de frío

El almacenamiento a temperaturas de refrigeración limita el crecimiento de sólo el 10% de la microbiota total (Sridhar et al., 2020). La carne fresca a menudo se trata enfriando o congelando para aumentar su vida útil protegiéndolas del crecimiento de microorganismos que causan enfermedades transmitidas por los alimentos (Das et al., 2019).

Existen varios puntos débiles en la cadena de frío de la carne, como el aumento de temperatura durante el transporte, la transferencia de productos de un individuo a otro y los tiempos de espera en las compras y desconsolidación en el comercio minorista, que dan como resultado variaciones en la calidad del producto durante la distribución y al final de la vida útil y pueden causar deterioro antes de que se alcance la fecha de caducidad, lo que genera desperdicio de alimentos y pérdidas económicas, por lo que la gestión de la cadena de frío es de suma importancia y presenta un desafío permanente para mantener la inocuidad y frescura hasta que llega al consumidor final (Nastasijević et al., 2017). Dado que mantener la cadena de frío es un paso crucial para asegurar la inocuidad, se han identificado algunos microorganismos como posibles indicadores del procesamiento higiénico de la carne durante la cadena de frío. En la **Tabla 7.1.** se aprecian tales microorganismos.

Tabla 7.1. *Microorganismos de deterioro predominantes en carne congelada (Fuente: Dave & Ghaly, 2011).*

Microorganismo	Genero
Bacterias	<i>Alcaligenes, Alternomonas, Bacillus anthracis, Arthobactor, Brochothrix, Citrobacter, Corynebacterium, Cysticercus cellulosae, Erwinia, Escherichia, Flavobacterium, Klebsiella, Kurthia, Proteous, Pseudomonas, Salmonella, Mycobacterium tuberculosis</i>
Mohos y levaduras	<i>Chrysosporium pannorum, Cladosporium cladosporoides, Cladosporium herbarum, Cryptococcus spp., D. hansenni, Penicillium hirsutum, Rhodotorula spp., Thamnidium elegans</i>

Los estudios reportados han indicado que el número de bacterias disminuye en la cadena de frío de carnes con el aumento del período de almacenamiento (Coombs, Holman, Friend y Hopkins, 2017; Georgsson, Þorkelsson, Geirsdóttir, Reiersen y Stern, 2006). Aunque el tratamiento a baja temperatura podría suprimir la supervivencia y reproducción de microorganismos; las cualidades de la carne, como el contenido de agua, las sales solubles, las proteínas, el sabor, la textura, la jugosidad, la apariencia y el color, también se ven afectadas por este tipo de tratamientos (Mohammed et al., 2021; Sridhar et al., 2020; Zhou et al., 2010). Con el fin de reducir el deterioro y el retiro de carne vinculado a la contaminación por patógenos, deben surgir estrategias innovadoras y efectivas para mejorar el control microbiano durante toda la cadena de producción (Saucier, 2016). Por lo tanto, el desarrollo de nuevos agentes desinfectantes es estudiado para garantizar que los consumidores se sientan seguros con respecto a la calidad de la carne que consumen y estén protegidos de los peligros (Nair et al., 2019).

CAPITULO 8. Enfermedades transmitidas por carne (res, cerdo, aves y pescado).

El aumento de las incidencias transmitidas por los alimentos representa una amenaza global para la autoridad reguladora y refuerza la necesidad de que los gobiernos, la industria alimentaria y las personas hagan más para hacer que los alimentos sean seguros y prevenir las enfermedades transmitidas por los alimentos (Bari & Yeasmin, 2018). Atribuir una enfermedad a un grupo de alimentos específico es problemático porque la mayoría de las bacterias y virus pueden transmitirse a través de una variedad de alimentos y rara vez es posible relacionar una enfermedad con un alimento en particular, por lo que en este apartado se abordaran aquellas enfermedades comúnmente transmitidas por agentes patógenos presentes en la carne (O'Bryan et al., 2022).

La carne además de ser altamente susceptible a deterioro, también puede constituir un vehículo para la propagación de enfermedades transmitidas por alimentos (Heredia et al., 2014). Los microorganismos ingeridos se multiplican en el intestino y pueden causar enfermedades como diarrea, fiebre tifoidea y cólera; los parásitos intestinales pueden causar enfermedades como amebiasis y teniasis (enfermedad de la taenia); y enfermedades zoonóticas (es decir, aquellas que se transmiten a los humanos de otros animales), por ejemplo, ántrax y tuberculosis bovina (Bari & Yeasmin, 2018; Hoffmann & Scallan, 2017).

La contaminación de la carne cruda se produce fácilmente a partir de fuentes externas durante el sangrado, la manipulación y el procesamiento a través de cuchillos, herramientas, ropa, manos y aire. El alcance de la contaminación microbiana y la composición de la microbiota bacteriana reflejan la higiene estándar de la carne (Bantawa et al., 2018). Los microorganismos patógenos que históricamente se han asociado a brotes por el consumo de carne, incluyen, *E. coli* O157:H7 y no-O157, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Yersinia enterocolitica*, produciendo síntomas como fiebre, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea (World Health Organization, 2020), y siendo los primeros dos los patógenos más importantes en carne de res (Heredia et al., 2014; Marcelo Signorini, 2007).

8.1. Infecciones por *Escherichia coli* O157:H7

Escherichia coli (*E. coli*) es una bacteria en forma de bastón Gram-negativo (bacilo) de la familia Enterobacteriaceae, que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, puede crecer a temperaturas que oscilan entre 7 °C y 50 °C, con una temperatura óptima de 37°C. Algunas pueden proliferar en alimentos ácidos, hasta a un pH de 4.4, y en alimentos con una actividad de agua (a_w) mínima de 0.95 (Organización Mundial de la Salud, 2018). Sin embargo, *E. coli* O157: H7 es el serotipo más importante de *E. coli* por su impacto en la salud pública ya que es la única productora

de toxina Shiga (Bari & Yeasmin, 2018; OMS, 2018) reconocido como un agente etiológico de enfermedad grave y mortalidad en brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en todo el mundo (Jure et al., 2015; Lianou et al., 2017).

El ganado bovino se considera el reservorio principal de *E. coli* O157: H7 que infecta a los humanos. Los bovinos adultos y los terneros destetados que portan *E. coli* O157: H7 generalmente permanecen asintomáticos, pero eliminan la bacteria al medio ambiente en sus heces (O'Brien, 2000), se transmite al hombre principalmente por el consumo de alimentos contaminados, como productos de carne picada cruda o poco cocida. La contaminación fecal del agua y de otros alimentos, así como la contaminación cruzada durante la preparación de estos (con carne de vacuno y otros productos cárnicos, superficies y utensilios de cocina contaminados), también es causa de infecciones (OMS, 2018). Se trata de un microorganismo patógeno asociado a casos esporádicos, brotes de diarrea sanguinolenta y no sanguinolenta, colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico, enfermedad extraintestinal severa, caracterizada por anemia hemolítica microangiopática, trombocitopenia, falla renal aguda y colitis hemorrágica que a menudo conduce a complicaciones a largo plazo como el síndrome urémico hemolítico (Bari & Yeasmin, 2018; Jure et al., 2015).

Una de las alternativas utilizadas como desinfectante contra *E. coli* en carne han sido los ácidos orgánicos, dentro de ellos se encuentra el ácido láctico

(Catalina Aguilar & Bernadette Klotz, 2011). En la Unión Europea (UE), el Reglamento (UE) 101/2013 de la Comisión autorizó el uso de ácido láctico para reducir la contaminación microbiológica en la superficie de la canal bovina en el matadero (Comisión Europea, 2013).

8.2. Infección por *Listeria monocytogenes*

Es un organismo en forma bacilar, Gram-positivo, móvil, no formador de esporas y ubicuo. Es un patógeno intracelular anaeróbico facultativo que puede causar listeriosis en humanos y otros animales, incluidos mamíferos y aves (Ranasinghe et al., 2021). Los animales, especialmente el ganado bovino, pueden ser portadores de *L. monocytogenes* sin parecer enfermos y eliminar la bacteria en sus heces (U. S. Food Administration, 2020).

El brote de listeriosis es una amenaza para la salud pública y la economía. Según el informe de la EFSA de 2018 (European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control (EFSA and ECDC), 2019). Los casos notificados de listeriosis invasiva humana fueron 2,549 en la Unión Europea (UE), y la carne y los productos cárnicos representaron el 37.5% (con un número de prueba de 57, 861 muestras) en los principales alimentos listos para el consumo (X. Zhang et al., 2021). En infecciones severas la listeriosis produce septicemia, meningitis, encefalitis, infección del sistema nervioso central y posiblemente muerte; los cuales pueden ser precedidos por síntomas gastrointestinales tales como náuseas, vómito, diarrea, fiebre o dolor de cabeza; y, esto es más significativo aún en grupos

vulnerables tales como ancianos, mujeres embarazadas, niños y pacientes inmunocomprometidos (Centurión Puma & Takajara Santander, 2004).

La capacidad de crecer y multiplicarse a bajas temperaturas (-2 a 4 °C, organismo psicrótrofo) incluso en alimentos refrigerados, sobrevivir o crecer a valores de pH tan bajos como 4.4- 5.0 y crecer en concentraciones de sal hasta del 14 % convierte a *L. monocytogenes* como un patógeno de especial preocupación para seguridad de la cadena de producción de alimentos, debido a que la bacteria puede multiplicarse y persistir en las plantas procesadoras de alimentos durante años, es especialmente difícil de controlar y puede resultar en una contaminación intermitente de los alimentos, por lo que mantener las condiciones necesarias que inhiban su multiplicación en productos frescos, refrigerados y listos para comer que se consumen sin recalentar, cocinar o ambos, ha tomado gran relevancia para la industria cárnica (Centurión Puma & Takajara Santander, 2004; Ranasinghe et al., 2021; U. S. Food Administration, 2020).

8.3. Infección por *Campylobacter jejuni* y *Campylobacter coli*

Campylobacter jejuni y *Campylobacter coli* son bacterias termófilas, Gram negativas, muy móviles, microaerófilas que necesita un 6% de oxígeno, pero un 20% de oxígeno es tóxico para ellas y para un crecimiento óptimo, necesita una temperatura de incubación de 37–42°C (Ivanova et al., 2021; Lonergan et al., 2019). Son patógenos que causan más infecciones por alimentos y agua que cualquier otra bacteria. Se cree que la dosis infecciosa

de *Campylobacter* es baja y la enfermedad clínica posterior a la infección varía desde una enterocolitis leve autolimitada que dura 24 h hasta una enfermedad grave que dura más de 10 días (Lonergan et al., 2019; Organización mundial de sanidad animal, 2018; Whyte et al., 2022).

El principal reservorio de *Campylobacter spp.* comúnmente se halla en el tracto digestivo de aves, bovinos, porcinos, ovinos y animales salvajes. *Campylobacter jejuni* se asocia principalmente con las aves de corral y *Campylobacter coli* se encuentra esencialmente en ganado bovino, porcino y ovino. En general, los casos en humanos se producen por causa de *Campylobacter jejuni* y en menor medida por *C. coli* (WHO & FAO, 2009).

La campilobacteriosis es una de las causas bacterianas de gastroenteritis aguda más comúnmente identificadas en todo el mundo y se encuentra después de *Salmonella*, como la causa de la mayoría de los casos de gastroenteritis bacteriana aguda transmitida por los alimentos en los Estados Unidos (Scallan et al., 2011). A pesar del gran número anual de casos en los Estados Unidos, generalmente ha sido un patógeno de menor prioridad que *Salmonella* y *Escherichia coli* O157: H7 tanto para la industria alimentaria como para las agencias reguladoras. El enfoque reducido en este patógeno puede deberse a la pequeña cantidad de brotes y muertes anuales relacionados con *Campylobacter* transmitidos por los alimentos en comparación con otros patógenos. Sin embargo, análisis recientes proporcionan estimaciones tan altas como que casi uno de cada dos casos

de campilobacteriosis en los Estados Unidos está asociado con el pollo (Williams et al., 2021). La cocción y el enfriamiento adecuados de la carne previene el desarrollo de este patógeno. Sin embargo, esta bacteria ha desarrollado resistencia a la mayoría de los antibióticos por lo tanto puede ser una preocupación importante para la industria alimentaria en el futuro (Lonergan et al., 2019).

8.4. Infección por *Salmonella* spp.

La especie *Salmonella enterica* se compone de seis subespecies: *enterica*, *salamae*, *aizonae*, *diarizonae*, *houtenae* e *índica*, con cerca de 2,659 serovares. De éstos, la subespecie *enterica* es responsable de aproximadamente 1.547 serotipos, de los cuales el 99% pueden causar infecciones en animales y humanos (Issenhuth-Jeanjean et al., 2014). La serovariedad de *typhimurium* representa individualmente el serotipo más prevalente y está diseminada en todo el mundo, principalmente en la carne de cerdo. Las aves de corral son las principales diseminadoras de los serovares *kentucky*, *hadar* y *enteritidis* a nivel mundial, donde *enteritidis* es el segundo más prevalente. Los serovares *weltevreden*, *derby*, *anatum*, *meleagridis* y *agona* alcanzan relevancia mundial debido a su presencia en

la carne de res y mariscos (Ferrari et al., 2019). Para ilustrar la distribución de los serotipos en el mundo observar la **Figura 8.1**.

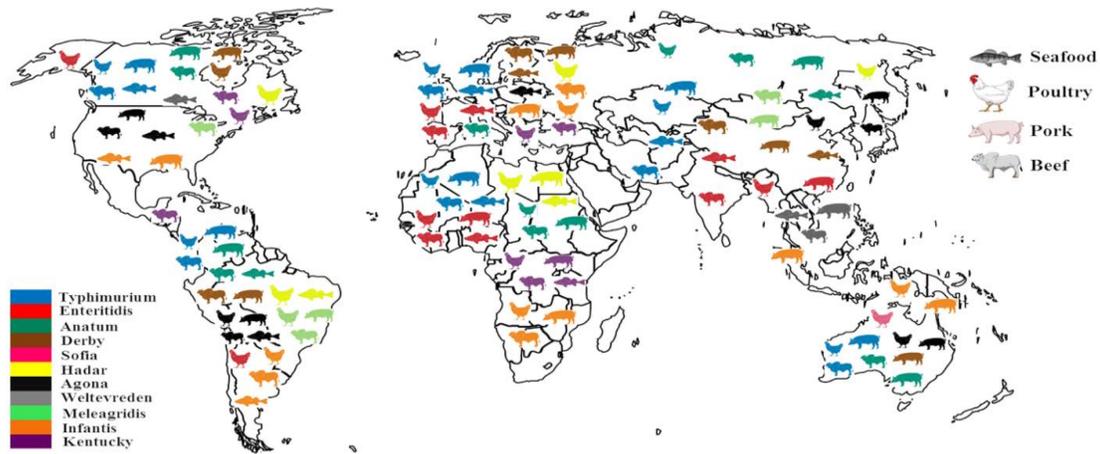


Figura 8.1. Distribución de los serotipos de *Salmonella* en el mundo (Ferrari et al., 2019).

Los serotipos de *Salmonella* son una de las causas bacterianas de enfermedades transmitidas por alimentos en los seres humanos notificadas con mayor frecuencia (Scallan et al., 2011). *Salmonella enteritidis* se asocia comúnmente con la carne de aves de corral y se estima que ~ 30% de la salmonelosis transmitida por los alimentos en todo el mundo podría estar relacionado con el consumo de esta carne (Regalado-Pineda et al., 2020); mientras que *S. typhimurium* tiene presencia en una gama de especies más amplia, que incluye también a cerdos y bovinos. Por tanto, los alimentos de origen animal, en particular los productos avícolas contaminados (huevos y carne de aves de corral) han sido considerados los principales vehículos de *Salmonella* y claramente asociada con la epidemia mundial de *S. enteritidis* (Antunes et al., 2016).

La incidencia de salmonelosis (datos más recientes (2020 a la actualidad)) indican 15.3 casos por 100, 000) todavía está muy por encima del objetivo de Healthy People 2030 de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades “CDC” (de sus siglas en ingles) de 11.5 casos por 100,000 habitantes, y no ha experimentado reducciones sustanciales en las últimas dos décadas. A pesar de que los datos de prevalencia muestran una disminución constante (O’Byran et al., 2022) principalmente atribuida a la implementación de los sistemas de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP de sus siglas en inglés).

8.5. Infección por *Vibrio parahaemolyticus*

Las especies de *Vibrio* (spp.) son bacterias Gram-negativas que se encuentran principalmente en ambientes marinos y son responsables de la vibriosis. *Vibrio parahaemolyticus* es la principal causa de enfermedades gastrointestinales humanas asociadas con el consumo de mariscos crudos contaminados o poco cocidos. Es una bacteria halófila que prospera en climas cálidos, se encuentra comúnmente nadando libremente, adherido a superficies submarinas o asociado a diferentes especies de mariscos, y es uno de los principales responsables de las grandes pérdidas económicas en la industria de la acuicultura (A. Broberg et al., 2012).

La infección por *Vibrio parahaemolyticus* ocurre de 4 a 96 horas después del consumo de alimentos contaminados y dura hasta tres días, puede causar tres afecciones médicas distintas: gastroenteritis, infecciones de heridas y

septicemia. La gastroenteritis aguda se presenta con calambres abdominales, diarrea, náuseas, vómitos, febrícula, dolor de cabeza y diarrea sanguinolenta ocasional diferente a la observada en otras infecciones entéricas (Balakrish Nair et al., 2007).

Los síntomas están asociados con la producción de proteínas de hemolisina termoestable directa (TDH de sus siglas en inglés) o hemolisina relacionada con TDH (TRH). Dentro de las especies de *V. parahaemolyticus*, se han reportado 13 serogrupos O y 71 serogrupos K, entre ellos, el serotipo O3:K6 ha estado involucrado con mayor frecuencia en los brotes de este (Bonnin- Jusserand et al., 2019).

Según el informe anual de los Estados Unidos, aproximadamente 45,000 brotes son causados por la contaminación por *V. parahaemolyticus* y en Asia ha sido reconocido como la principal causa de gastroenteritis (Ashrafudoulla et al., 2021). Por lo tanto, es importante desarrollar nuevas estrategias respetuosas con el medio ambiente para controlar la contaminación por *Vibrio* y proteger la salud pública.

8.6. Infección por *Yersinia enterocolitica*

El género *Yersinia* se compone de microorganismos anaerobios facultativos Gram-negativos que son de apariencia ovoide en forma bacilar. Estas bacterias pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. De las 11 especies identificadas en este género, las tres que son patógenas para los mamíferos

son: *Y. pestis*, *Y. enterocolitica* y *Y. pseudotuberculosis* (Cutter et al., 2012).

Yersinia enterocolitica es una bacteria que no forma esporas, aeróbica o anaeróbica facultativa, con flagelos periféricos que la hacen móvil a 22°C a 25° C, pero a 37°C se vuelve no flagelada, y por lo tanto inmóvil, crece a una temperatura entre 30-37°C a un pH entre 7 y 8. Consta de 5 biotipos y hasta 70 serotipos, basados en antígenos O, la patogenicidad está asociada a los biotipos 1, 2 y 4, y a los serotipos O:3, O:8 y O:9 (Bottone, 1999; Castañeda et al., 2001). Durante los últimos 50 años, este microorganismo ha sido responsable de más de mil infecciones humanas y hospitalizaciones esporádicas cada año en los Estados Unidos y los brotes tienden a estar asociados con carne de cerdo poco cocida, ya que su colonización generalmente ocurre en cerdos de engorde (Cutter et al., 2012; Zdolec & Kiš, 2021).

Se estima que la prevalencia de este patógeno es mayor en los sistemas de agricultura intensiva y puede ser estacional. La excreción fecal de patógenos comienza entre uno y tres meses de edad y alcanza su punto máximo entre los dos y cinco meses. Después de esta edad, la incidencia fecal disminuye, pero los cerdos permanecen seropositivos durante un período de tiempo más prolongado (Zdolec & Kiš, 2021).

Y. enterocolitica suele ser susceptible a diferentes antibióticos, como aminoglucósidos, tetraciclina, cloranfenicol y cefalosporinas de espectro

extendido. Sin embargo, este patógeno ha desarrollado una resistencia natural ya que durante las diferentes etapas de la producción la carne se somete a tratamientos con sustancias antimicrobianas. Además, el contacto con otras bacterias permite la transferencia de material genético, lo que conduce a modificaciones y adquisición de genes y plásmidos relacionados con el aumento de su resistencia, por lo que es necesario el desarrollo de nuevas sustancias efectivas para evitar el crecimiento de tal patógeno (Kadigia Pegoraro, et al., 2021).

CAPITULO 9. Aplicaciones de SES en carne

La carne de ave se considera un alimento altamente perecedero; puede estar contaminado con microorganismos patógenos y de descomposición, lo que no es deseable para la salud y seguridad de los consumidores. La vida útil de la carne de ave depende del número inicial de microorganismos de descomposición y de la temperatura durante el proceso de producción y almacenamiento (Moghassem Hamidi et al., 2021). Las nuevas tecnologías de conservación más investigadas para su conservación son las tecnologías de inactivación no térmica. SES es una de estas nuevas alternativas utilizadas que ahorra energía, no causa daño para el medio ambiente y garantiza una apariencia natural al tiempo que elimina los patógenos y los microorganismos dañinos (Zhou et al., 2010).

9.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de bovino

Al-Holy & Rasco, 2015 examinaron la actividad bactericida de SES ácida (pH promedio 2.30, concentración de cloro libre disponible de 38 ± 2 mg / L) frente a *E. coli* O157: H7, *S. typhimurium* y *L. monocytogenes*. El tratamiento de la carne se llevó a cabo durante 10 minutos por un lado con SES y se comparó con un control en el que se utilizó agua destilada. Al final se obtuvo una reducción de *E. coli* O157: H7 aproximadamente 0.8 log₁₀ UFC/g y > 0.15 log₁₀ UFC/g, respectivamente, en comparación con el control. Para *S. typhimurium*, la disminución fue de aproximadamente 1.4 log₁₀ UFC/gen el lado tratado y en el control la reducción fue de solo 0.6

log₁₀ UFC/g, mientras que para *L. monocytogenes* presentó una reducción de aproximadamente 1.3 logaritmos en comparación con una de 0.5 logaritmos (**Figura 9.1.**).

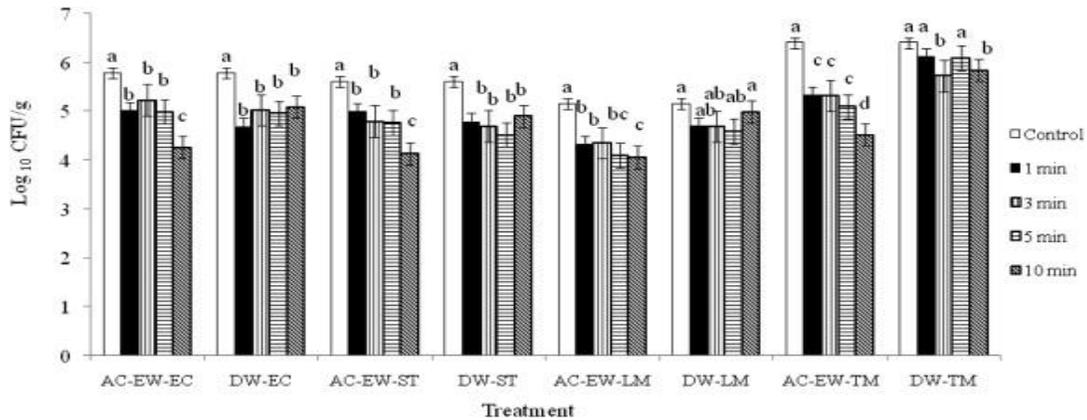


Figura 9.1. Población sobreviviente de *Escherichia coli* O157: H7 (EC), *Salmonella* Typhimurium (ST), *Listeria monocytogenes* (LM) y mesófilos totales (TM) inoculados en la superficie de la carne de res después del tratamiento con agua electrolizada ácida (AC-EW) o a agua destilada estéril (DW) para diferentes períodos de tiempo. Las barras de error indican intervalos de confianza del 95%. El control son muestras inoculadas, pero no tratadas. Las barras con diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Al-Holy & Rasco, 2015).

En otro estudio se investigaron los efectos bactericidas y la influencia de la temperatura de almacenamiento (4, 10, 15, 20, 25 y 30°C) sobre el crecimiento de *E. coli* O157: H7 en carne de vacuno tratada y no tratada con SES ácida o SES ligeramente ácida. Los resultados mostraron que ambos tenían fuertes efectos antimicrobianos y no hubo diferencias significativas entre 50 ppm de SES ácida y 5 ppm de SES ligeramente ácida, pero el número de bacterias en las muestras tratadas siempre fue significativamente menor que el del control (reducciones de 5 a $1,64 \pm 0,13$ y $1,72 \pm 0,09$ log₁₀ UFC/g, respectivamente); además, el tiempo necesario para llegar a

la fase estacionaria final se prolongó después de los tratamientos, es decir, la carne tratada con ambas SES puede almacenarse durante más tiempo en comparación con el control (**Figura 9.2.**) (Ding et al., 2010).

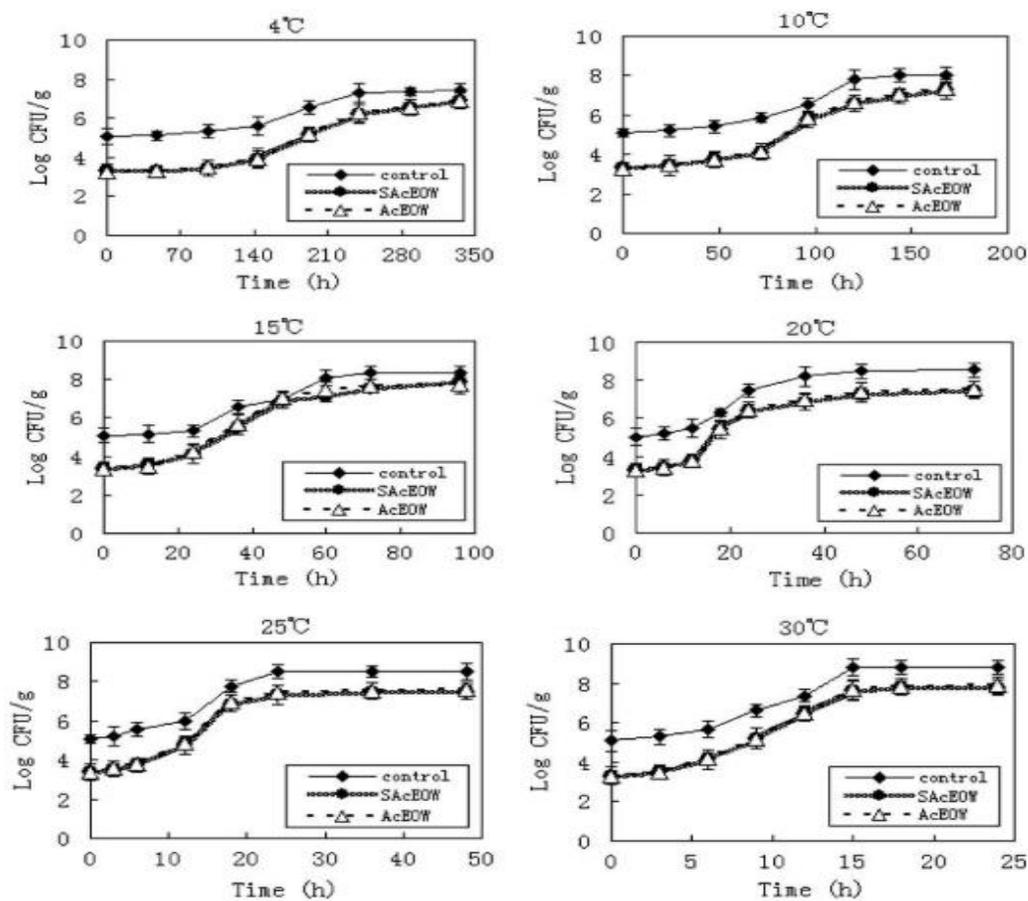


Figura 9.2. Curvas de crecimiento de *E. coli* O157: H7 en carne de res; el control y tratada con SES ligeramente ácida (SAcEOW) y SES ácida (AcEOW) a diferentes temperaturas de almacenamiento (4, 10, 15, 20, 25 y 30 ° C) (Ding et al., 2010).

Con respecto a los efectos en la calidad sensorial Sheng et al., (2018) evaluaron los efectos de SES ligeramente ácida (pH= 6.29 y ORV 870-900mV), polifenoles del té y agua sobre las cualidades sensoriales de la carne fresca durante el almacenamiento frente a carne no tratada, que fue considerada el control. Sus resultados mostraron que después de 16 días,

las puntuaciones de olor, apariencia, textura y aceptabilidad general de las muestras tratadas con SES fueron aproximadamente 4.52 ± 0.12 , 4.43 ± 0.13 , 4.31 ± 0.13 , 4.42 ± 0.25 , medidas con una escala hedónica de 9 puntos y considerando "aceptables" todas aquellas ≥ 4 . Las muestras control y con agua obtuvieron calificaciones menores a 2.5 en todos los atributos y el tratamiento con SAEW fue ligeramente mejor que el uso de polifenoles del té, demostrando que SES tenía la ventaja de mantener la calidad general de la carne, por lo que es un método potencial para extender su vida útil (**Figura 9.3.**).

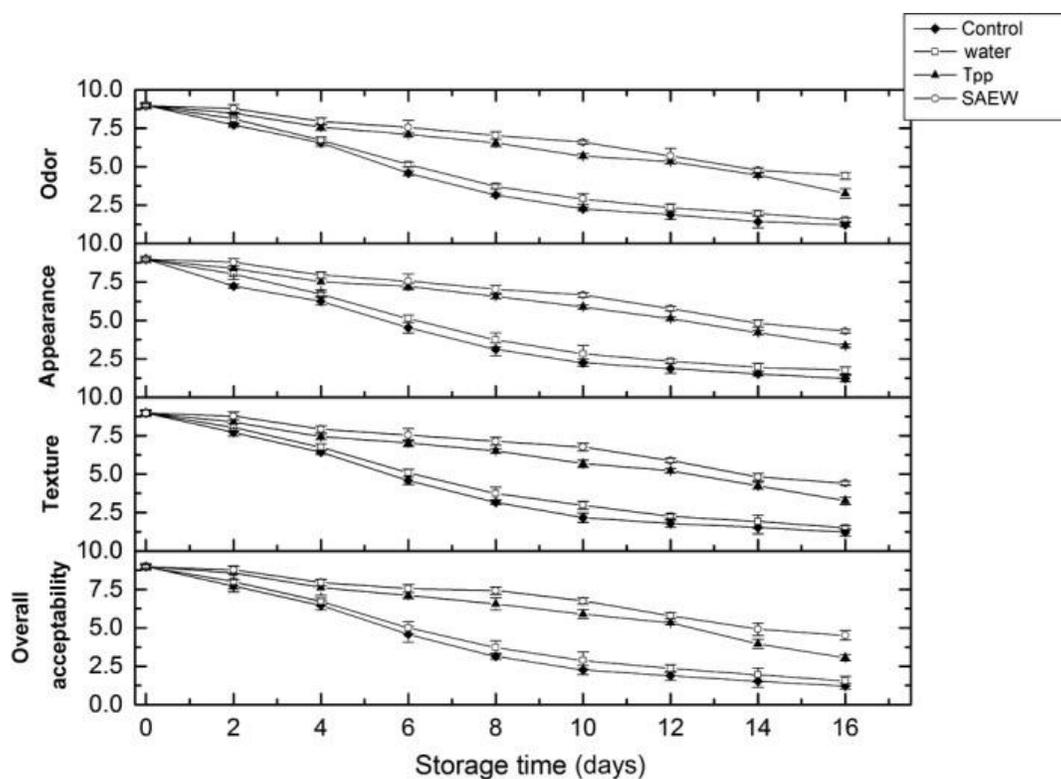


Figura 9.3. Cambios en las propiedades sensoriales de la carne de vacuno tratada y no tratada almacenada a 4°C: carne sin tratar (Control), polifenoles de té (Tpp), SES ligeramente ácida (SAEW) y agua (water). Las barras verticales representan el error estándar de la media ($n \geq 3$) (Sheng et al., 2018)

En la mayoría de los estudios, después del tratamiento, no se obtuvo una eliminación completa de los patógenos inoculados posiblemente debido a la presencia de materia orgánica y residuos de sangre. Se ha informado que incluso cantidades bajas de proteínas o grasas pueden reducir la eficacia antimicrobiana de los desinfectantes, disminuyendo la concentración de cloro libre (Vandekinderen et al., 2009). Esto también se debe a que altos niveles de grasa y proteína pueden proteger a las células vegetativas bacterianas del efecto de los desinfectantes al actuar como amortiguadores (Feliciano et al., 2010; Vandekinderen et al., 2009).

Por lo tanto, para tener una utilización más efectiva se sugiere un tratamiento previo de los diferentes productos cárnicos con agua limpia para eliminar la sangre y cualquier residuo de materia orgánica antes de la aplicación de SES. También se recomienda utilizar la SES durante intervalos de tiempo prolongados y cambiar las soluciones de inmersión con frecuencia para impartir una descontaminación más eficaz (Al-Holy & Rasco, 2015; Mohammed et al., 2021; O'Brien, 2000; Sheng et al., 2018).

CAPITULO 10. Aplicaciones de SES en carne de cerdo

La carne de cerdo es un alimento muy popular en todo el mundo y su consumo representa alrededor del 40% de la cantidad mundial, en comparación con otras carnes animales (Orejel & Cano Buendía, 2020). Aunque el consumo de productos porcinos está aumentando, la seguridad microbiana de la carne de cerdo durante el almacenamiento y la comercialización sigue siendo motivo de preocupación (Rahman et al., 2013). Por lo que se han investigado varios desinfectantes químicos para mejorar la seguridad microbiana y la calidad de la carne de cerdo durante el procesamiento y almacenamiento, para reducir sus contaminaciones microbianas y extender la vida útil. En los últimos años, se han investigado la efectividad de SES sola o en combinación con otras sustancias desinfectantes, y se ha demostrado que reduce la contaminación microbiana de la carne de cerdo en comparación con agua clorada, con sales y ácidos orgánicos (Han et al., 2018; Mansur et al., 2015).

10.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de cerdo

En el estudio de (Mansur et al., 2015) se evaluó la eficacia de los tratamientos individuales con SES ligeramente ácida, ácido fumárico (AF) al 0.5% y la combinación de estas (SES y AF), para reducir *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* Typhimurium en carne de cerdo fresca, así como para estudiar la vida útil y la calidad sensorial (color, olor y textura) de la carne de cerdo durante el almacenamiento a 4°C y 10°C. Con base en los resultados, la descontaminación de carne de cerdo fresca con SES ligeramente ácida + 0.5% AF con un leve calentamiento a 40°C (**Figura 10.1.**) durante 3 min fue capaz de reducir las contaminaciones bacterianas (se consideró que el final de la vida útil se producía cuando la cuenta bacteriana total alcanzaba ≥ 7 log UFC / g) y prolongar la vida útil de la carne de cerdo durante el almacenamiento a 4 y 10 ° C.

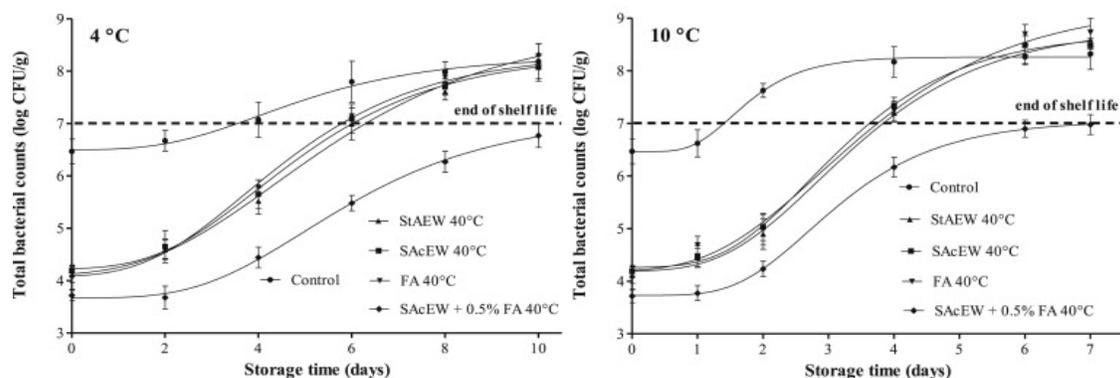


Figura 10.1. Efecto de tratamientos (SES fuertemente ácida (StAEW), SES ligeramente ácida (SAcEW), ácido fumárico (FA), SES ligeramente ácida y ácido fumárico con calor suave (SAcEW+ FA) a 40 ° C) durante 3 min sobre el recuento bacteriano total en carne de cerdo almacenada a 4 y 10 ° C. Los valores mostrados son medias \pm desviación estándar de ensayos por triplicado (Mansur et al., 2015).

En otro estudio, (Fabrizio & Cutter, 2004) señalaron que la carne de cerdo fresca rociada con SES ácida (ORP = 1150 mV, pH = 2.4-2.7, ACC = 50 mg / L) causó la reducción de *L. monocytogenes*, *Campylobacter coli* y *S. typhimurium* de 1.23-1.81 log UFC / cm² el día 0 a 0.65-1.36 log UFC / cm² el día 7 comparado con controles de carne no tratada. Se demostró que una aspersion de 15 s con SES ácida tiene la capacidad de reducir *Campylobacter* spp. Sin embargo, se necesita un mayor tiempo de contacto (> 10 min) para reducir eficazmente a los otros patógenos (*S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*, *E. coli* y *Coliformes totales*)(Sun et al., 2022).

En estos trabajos de investigación SES no afectó el pH, ORP o el color rojo de la carne de cerdo y no aceleró la oxidación de lípidos; sin embargo, sí oxidó la proteína de cerdo poco después de la aplicación. Este efecto podría deberse a la concentración de cloro disponible que oxidaba la mioglobina convirtiéndola en metamioglobina (Orejel & Cano Buendía, 2020). Una alternativa viable para evitar este efecto podría ser la combinación SES acida + SES alcalina, como lo muestra Athayde et al., 2017 en su estudio donde demostró que SES alcalina fue eficaz para reducir las reacciones de oxidación proteica y a su vez, esta combinación puede reducir el volumen de agua utilizada en el sacrificio y mejorar la calidad microbiológica de la carne de cerdo.

10.2. SES neutra en carne de cerdo

Dentro de los estudios que se han realizado para evaluar la efectividad antimicrobiana de SES neutra en carne de cerdo está el de Han et al., 2018 donde se inocularon *E. coli* O157: H7, *Salmonella enteritidis* y *Yersinia enterocolitica* en cultivos puros, chuletas de cerdo y muestras de piel. Entre los tres patógenos probados, *Yersinia enterocolitica* fue más resistente a los tratamientos de SES en comparación con los cultivos de *E. coli* O157: H7 y *Salmonella*, lo que indica que se necesitan otras tecnologías o métodos de tratamiento sinérgicos para controlar la contaminación con *Yersinia*. Al aplicar SES a chuletas de cerdo inoculadas y muestras de piel, el tratamiento con SES mostró una mejor eficacia antimicrobiana en las muestras de piel que en chuletas de cerdo, lo que indica que la materia orgánica presente en las chuletas de cerdo interfirió significativamente con la eficacia antimicrobiana del tratamiento. La formación de cloro combinado (cloraminas) generado a partir de la reacción SES-materia orgánica hace que SES pierda su capacidad para reducir la población bacteriana en condiciones ricas en materia orgánica (Y. R. Huang et al., 2008; Torres-Rosales et al., 2020).

En otro estudio se evaluó el efecto bactericida de SES neutra cuando se asperja sobre chuletas de cerdo contaminadas artificialmente con *L. monocytogenes* o *Salmonella* Typhimurium. Se demostró que SES tiene un efecto bactericida eficaz que no afecta las propiedades fisicoquímicas

de la carne (color, pH, concentración de ácido láctico, y oxidación de lípidos) y calidad (nitrógeno base volátil total) (Gómez Jaimes et al., 2017) lo que le da una mayor ventaja sobre SES ácida. Esto se comprueba nuevamente en el estudio de Rosales, 2017 donde se aplicó un tratamiento control con solución salina fisiológica (SSF), un desinfectante de referencia (NaClO) y la SES con pH neutro en la superficie de la carne previamente contaminada con un inóculo de 10^6 UFC/mL de la bacteria patógena *Listeria monocytogenes*, al final del estudio la reducción de fue del 80.72%, y a los 8 días de almacenamiento en refrigeración se obtuvo una reducción del 90.82% sin provocar un efecto negativo en las características de calidad durante el almacenamiento.

CAPITULO 11. Aplicaciones de SES en carne de aves.

Hoy en día, los agentes desinfectantes comúnmente utilizados para las intervenciones de descontaminación de aves frescas incluyen compuestos de cloro, fosfato trisódico y ácidos orgánicos. El agua electrolizada neutra (NUEVA) está cobrando importancia en la industria alimentaria principalmente debido a su actividad antimicrobiana efectiva, no corrosiva, propiedades amigables con el medio ambiente, producción in situ a bajo costo y manejo seguro (Aider et al., 2012; Jiménez-Pichardo et al. al., 2016).

11.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de aves

Dentro de los usos de SES, se ha informado de la reducción de 0.55 y 0.82 log UFC / mL para bacterias psicrótrofas y levaduras en las canales de pollos de engorde enjuagando con SES ácida durante 5 s (ORP = 1180 mV, pH = 2.4 y ACC = 50 mg / L). Además, de que este tratamiento podría reducir significativamente la cantidad de microorganismos presentes en las canales en comparación con el tratamiento de agua corriente o clorada durante el almacenamiento a 4 °C (Sun et al., 2022). Esta teoría se comprueba nuevamente con el estudio de Rahman et al., 2012 donde se informó que, en comparación con grupos de control, el tratamiento con SES ácida o ligeramente ácida durante 10 min causó una reducción de 1.5 a 2.3 log UFC / g del recuento total de bacterias aeróbicas en carne fresca de pechuga de

pollo y que mantuvo su calidad sensorial durante el almacenamiento a 5, 15 y 25 °C (**Tabla 11.1.**) (Sun et al., 2022).

Tabla 11.1. Evaluación sensorial de carne de pollo tratada con SES durante su almacenamiento a 5°C (Rahman et al., 2012).

Sensory attributes	EW treatment (ppm)	Storage time (d)				
		0	2	4	7	10
Freshness	Control	5.00 ± 0.00a	3.70 ± 0.42a	2.50 ± 0.50a	1.00 ± 0.25a	1.00 ± 0.00a
	10	5.00 ± 0.00a	4.70 ± 0.61b	3.40 ± 0.50b	2.00 ± 0.40b	1.50 ± 0.30b
	50	5.00 ± 0.00a	4.80 ± 0.35b	3.50 ± 0.40b	2.00 ± 0.30b	1.60 ± 0.20b
Texture	Control	5.00 ± 0.00a	3.80 ± 0.25a	2.45 ± 0.40a	1.00 ± 0.30a	1.00 ± 0.00a
	10	5.00 ± 0.00a	4.50 ± 0.38b	3.50 ± 0.50b	2.00 ± 0.50b	1.60 ± 0.25b
	50	5.00 ± 0.00a	4.64 ± 0.45b	3.40 ± 0.60b	2.00 ± 0.40b	1.55 ± 0.30b
Decay	Control	5.00 ± 0.00a	3.78 ± 0.72a	2.50 ± 0.40a	1.00 ± 0.20a	1.00 ± 0.00a
	10	5.00 ± 0.00a	4.45 ± 0.62b	3.50 ± 0.60b	2.00 ± 0.30b	1.50 ± 0.20b
	50	5.00 ± 0.00a	4.65 ± 0.55b	3.50 ± 0.50b	2.00 ± 0.40b	1.50 ± 0.20b
Odor	Control	5.00 ± 0.00a	4.00 ± 0.50a	2.60 ± 0.50a	1.00 ± 0.30a	1.00 ± 0.00a
	10	5.00 ± 0.00a	4.60 ± 0.42b	3.50 ± 0.50b	2.00 ± 0.40b	1.60 ± 0.20b
	50	5.00 ± 0.00a	4.70 ± 0.40b	3.50 ± 0.50b	2.00 ± 0.50b	1.50 ± 0.20b
Overall	Control	5.00 ± 0.00a	3.60 ± 0.55a	2.50 ± 0.45a	1.00 ± 0.30a	1.00 ± 0.00a
	10	5.00 ± 0.00a	4.50 ± 0.50b	3.50 ± 0.50b	2.00 ± 0.40b	1.50 ± 0.20b
	50	5.00 ± 0.00a	4.77 ± 0.47b	3.60 ± 0.60b	2.00 ± 0.40b	1.50 ± 0.20b

Sensory attributes (scores) reported as mean ± standard deviation, $n = 2 \times 3$. ^{a-b}Any means with different letters within a column are significantly different ($P < 0.05$). Sensory scores were based on 5-point descriptive scale, where 1 = poor, 2 = fair, 3 = good, 4 = very good, and 5 = excellent.

El uso de SES ácida ha demostrado su efectividad en la mayoría de los estudios realizados. Sin embargo (Fabrizio & Cutter, 2004) realizaron un estudio comparando la efectividad de SES ácida (pH 2.6, cloro (Cl) de 20 a 50 ppm y potencial de oxidación-reducción de 1150 mV), ácido acético (AA) o fosfato trisódico (TSP de sus siglas en ingles). Se aplicaron a canales de pollos inoculadas con *Salmonella typhimurium* (*St*), sumergidas a 4°C/45 min. Después de 7 días de almacenamiento TSP, AA y SES redujeron a *St* en 2.17, 2.31 y 1.06 log₁₀, respectivamente. Aunque TSP y AA resultaron ser más eficaces contra *S. typhimurium*, son costosos y afectan negativamente al medio ambiente, colocando nuevamente a SES ácida como una alternativa viable para el almacenamiento prolongando de carne de pollo.

Los tratamientos con SES ácida y ligeramente ácida han mostrado efectos antimicrobianos similares, pero debe resaltarse que el uso de SES ligeramente ácida resulta ser más beneficioso en la aplicación práctica por su pH semi neutro y bajo contenido de cloro (Bing et al., 2022; Mansur et al., 2015; Rahman et al., 2012) por lo que debería considerarse como un alternativa óptima para el tratamiento de la carne de ave por encima de SES ácida.

11.2. SES neutra en carne de aves

Este tipo de SES tiene muchas ventajas; no daña la mucosa humana, ni tampoco superficies inertes como el acero inoxidable y se ha informado que su uso no afecta las características fisicoquímicas y sensoriales de varios tipos de carne y en especial la de pollo, extendiendo así su vida útil (Moghassem Hamidi et al., 2021; Rahman et al., 2012). Aunque SES neutra ha demostrado ser efectiva como desinfectante, los trabajos de investigación sobre su uso en carne de ave aún son limitados.

Hernández-Pimentel et al., (2020). Reportó la actividad antimicrobiana de SES y su marcada ventaja sobre el NaClO cuando se aplicó en canales de pollos de engorde (90 unidades experimentales). SES a 14 mg / L de Cloro total disponible (CTD) inhibió completamente ($> 6 \log \text{ UFC / ml}$) un cultivo con la mezcla de *Salmonella* Typhimurium/*Salmonella infantis* después de 1 min de tiempo de contacto, mientras que el NaClO logró esta actividad a 125 mg / L de CTD. Además, cuando el tiempo de exposición fue de 5 min, la

inhibición total de patógenos se logró con SES a 5 mg / L CTD, mientras que NaClO requirió 50 mg / L, lo que indica que la actividad antimicrobiana de SES fue aproximadamente 10 veces mayor que la de NaClO (**Figura 11.1.**). Este efecto se atribuyó a la combinación de compuestos oxidantes presentes en SES que muestran varios mecanismos de acción antimicrobianos, que junto con un alto potencial redox lo hacen más eficiente que el NaClO.

Se tiene que tomar en cuenta que la presencia de materia orgánica reduce la eficacia de SES. Para mejorar y potenciar su actividad bactericida, también se ha propuesto la combinación con otros desinfectantes químicos, como es el caso de (Hernández-Pimentel et al., 2020; Moghassem Hamidi et al., 2021) que realizaron el tratamiento combinado de SES y ácido peroxiacético en pechugas de pollo frescas, demostrando que este tratamiento podría reducir significativamente la carga microbiológica, prolongar su vida útil durante el almacenamiento a 4 °C manteniendo la estabilidad a la oxidación, sin cambios sensoriales distinguibles y sin presentar cloro residual en las pechugas de pollo al final.

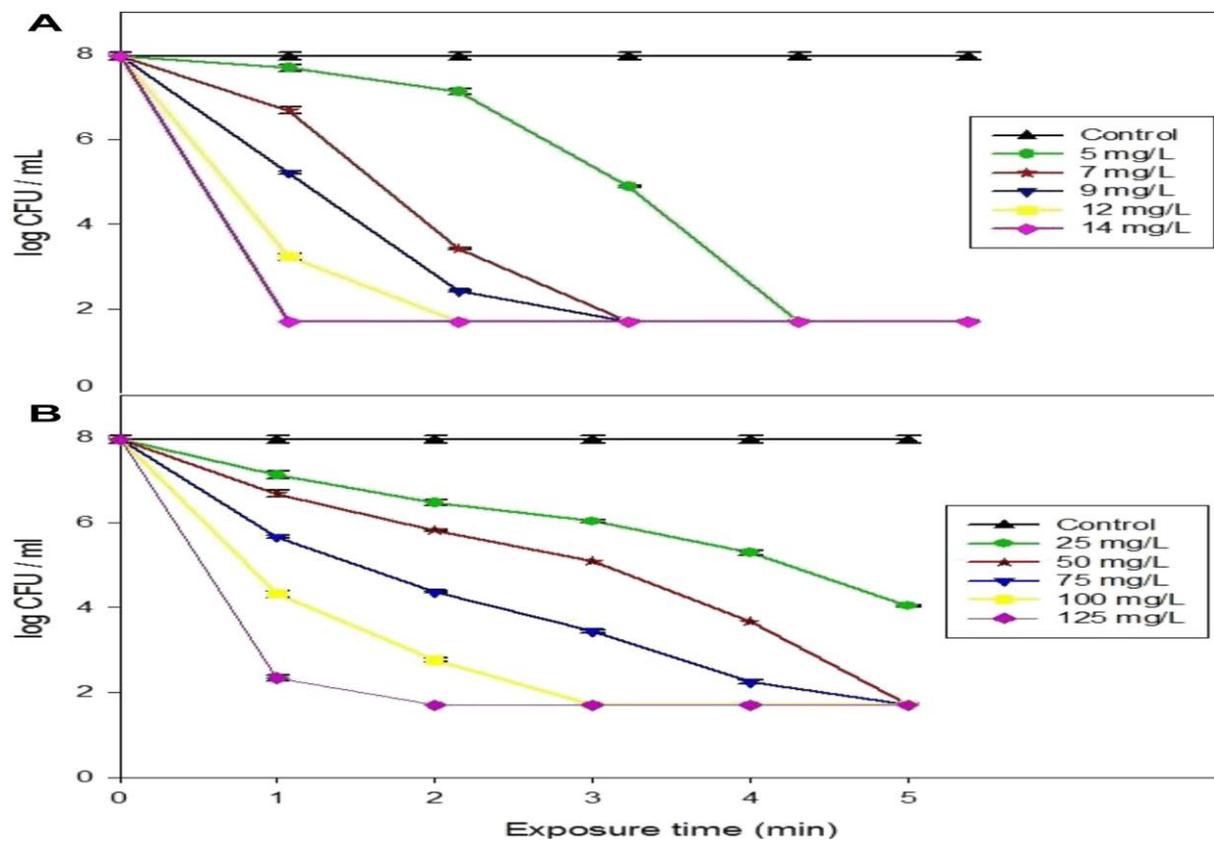


Figura 11.1. Células supervivientes de mezcla de cultivos puros (*Salmonella typhimurium* ATCC 14028 y *S. Infantis*) tras tratamientos antimicrobianos. (A) SES neutra. (B) Efecto del hipoclorito de sodio (Hernández-Pimentel et al., 2020).

CAPITULO 12. Aplicaciones de SES en carne de pescado

El pescado, los moluscos y los crustáceos son productos muy perecederos si no se procesan o envasan inmediatamente después de la captura. La refrigeración es una de las mejores tecnologías para mantener sus propiedades nutricionales y sensoriales. Sin embargo, el pescado y los productos pesqueros almacenados a temperaturas de refrigeración, o guardados en hielo o en cajas de poliestireno con hielo, tienen una vida útil limitada dada la composición química de la carne según la especie (Comi, 2017).

12.1. SES ácida y ligeramente ácida en carne de pescado

SES ligeramente ácida (pH 5.7), presenta una fuerte actividad bactericida contra los patógenos transmitidos por los mariscos; *Vibrio parahaemolyticus* y *Vibrio vulnificus* microorganismos patógenos comunes en carne de pescado. Lo anterior se demostró en el estudio de Quan et al., 2010 donde después de un inóculo inicial de 5.7 log UFC / ml en suspensiones celulares, el número de células viables de *V. vulnificus* se redujo en 2.2 logs después del tratamiento durante 60 s con una solución de hipoclorito de sodio que contenía 35 mg / L de ACC (concentración de cloro disponible), mientras que ninguna célula sobrevivió al tratamiento con SES durante 30 s. Se obtuvieron resultados similares para *V. parahaemolyticus*.

En el caso de otros patógenos comunes como *S. typhimurium*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, SES también ha tenido efectividad en pescado. Al-Holy &

Rasco (2015) mostraron que SES generaba una reducción de aproximadamente 1.0 y 1.5 logaritmos de *E. coli* O157: H7 en carne de trucha después de un tiempo de tratamiento de 5 y 10 min, respectivamente, en comparación con el control (sin tratamiento). En *S. typhimurium* inoculado disminuyó en aproximadamente 1.5 log₁₀ UFC/g después de un tiempo de tratamiento de 10 minutos. En *L. monocytogenes* se observó una reducción de aproximadamente 1.2 log₁₀ UFC/g después de 10 min de tratamiento en comparación con el control (**Figura 12.1**).

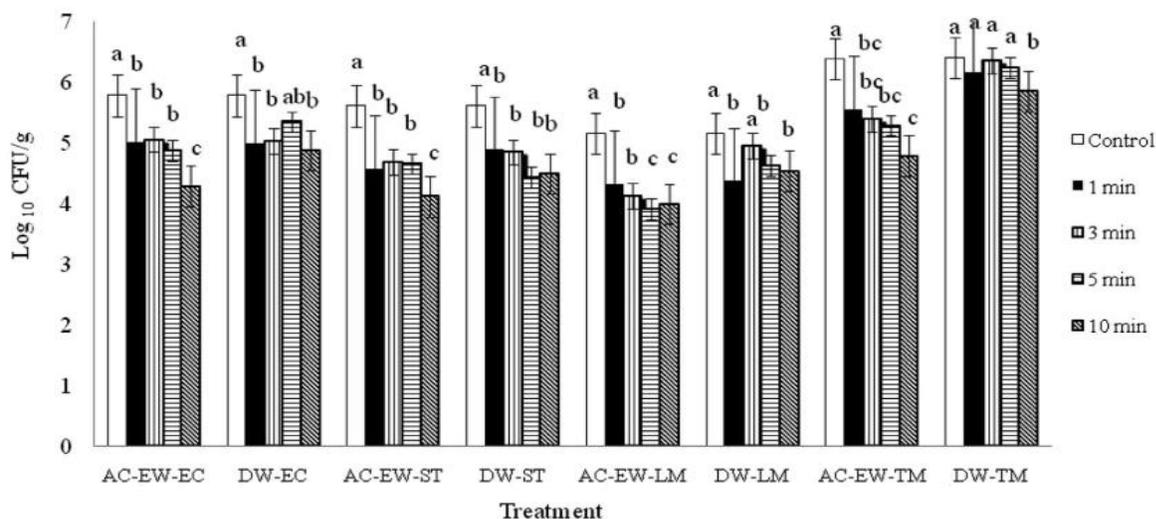


Figura 12.1. *Escherichia coli* O157: H7 (EC), *Salmonella typhimurium* (ST), *Listeria monocytogenes* (LM) y mesófilos totales (TM) inoculados en la superficie del pescado después del tratamiento con SES ácida (AC-EW) o agua destilada estéril (DW) para diferentes períodos de tiempo. Las barras de error indican intervalos de confianza del 95%. El control son muestras inoculadas, pero no tratadas. Las barras con diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes ($P < 0.05$) (Al-Holy & Rasco, 2015).

Ozer & Demirci, (2006) También demostraron la efectividad de SES de *E. coli* O157: H7 con una reducción de 1.07 log₁₀ UFC / g y una reducción de 1.12 log₁₀ UFC / g de *L. monocytogenes* en filetes de salmón inoculados con estos patógenos.

La mayoría de estos estudios han demostrado que la inmersión en SES ácida puede ser un método de conservación útil para la industria pesquera (**Tabla 12.1.**) disminuyendo patógenos comunes asociados con brotes de enfermedades transmitidas por pescados como el atún, tilapia, salmón, etc. Siendo *Listeria monocytogenes* el microorganismo con el que se trabaja comúnmente, seguido por *E. coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium y, en pocos casos *Vibrio parahaemolyticus*. A pesar de tener pocos estudios realizados con SES neutra y alcalina, dada la eficacia no sólo desinfectante sino protectora de la estructura proteica, resultaría conveniente realizar más trabajos experimentales que evalúen el uso de SES neutra en pescado.

Tabla 12.1. Evaluación de SES en pescado (Orejel & Cano Buendía, 2020)

Material	Type of Electrolyzed Water	Concentration of EW (ppm)	Microorganisms	Inoculum Concentration ^b	Type of Treatment	Duration of Treatment	Reference
Salmon	AEW and	76.9	<i>E. coli</i> O157:H7	8.7 log CFU/mL	Immersion	64 min	[47]
Salmon, mahi mahi (<i>Coryphaena hippurus</i>)	BEW	ND	<i>L. monocytogenes</i>	4.47 log CFU/g	Immersion	5 min	[48]
	AEW	50	<i>L. monocytogenes</i> <i>Morganella morganii</i>	4.02 log CFU/g			
Salmon	AEW	65	<i>L. monocytogenes</i> Aerobic bacteria Coliforms Yeast and moulds	6 log CFU/mL 4.2 to 5.9 log CFU/g 2.8 to 4 log CFU/g 1.3 to 2.9 log CFU/g	Immersion	5 min	[49]
Salmon	AEW, NEW	60	<i>L. monocytogenes</i>	7.70 log CFU/g	Immersion	10 min	[50]
Smoked salmon	AEW	60	<i>L. monocytogenes</i>	8.48 log CFU/mL	Immersion	10 min	[51]
Salmon, tuna fish skin	AEW	100	<i>Enterobacter aerogenes</i> <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Morganella morganii</i> <i>Proteus hauser</i>	8 to 9 log CFU/mL	Soaking in ice	120 min to 24 h	[52]
Tuna	AEW + CO gas	10, 50 and 100	Aerobic bacteria	3.14 log CFU/g	Immersion	5 min	[53]
Tuna	AEW	41	Aerobic bacteria	< 3 log CFU/mL	Immersion	15 min	[54]
Catfish	AEW	300	<i>L. monocytogenes</i> <i>Salmonella spp</i>	5 log CFU/g	Wash	3 min	[55]
Catfish	BEW + polyphosphate	ND ^a	ND	ND	Immersion	2 h	[56]
Tilapia	AEW	120	<i>E. coli</i> <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	8 log CFU/mL	Immersion	10 min	[57]
Tilapia	NEW + PROSAN	150	<i>Listeria innocua</i> <i>E. coli</i> K12 <i>Pseudomona putida</i>	6 to 7 log CFU/g	Soaking in ice	72 h	[58]
Carp	BAE AEW	0.87 40.8	Aerobic bacteria	6 log CFU/mL	Immersion	15 min	[59]
Pacific saury (<i>Cololabis saira</i>)	weak AEW	34.2 to 47.2	Aerobic bacteria Psychrotrophic bacteria	3 log CFU/g	Soaking in ice	30 days	[60]
Trout	AEW	38	Aerobic bacteria	9 log CFU/mL	Immersion	5 to 10 min	[61]
American shad (<i>Alosa sapidissima</i>)	AEW + chitosan slightly AEW +ebony-bamboo leaves complex extracts	70 to 80	Aerobic bacteria	3.71 to 3.94 log CFU/g	Immersion	15 min	[62]
Bombay duck (<i>Harpadon nehereus</i>)	AEW	66	<i>V. parahaemolyticus</i>	9 log CFU/mL	Immersion	2.5 min	[64]
Shrimp	AEW	44	Aerobic bacteria	6.04 log CFU/g	Soaking in ice	7 days	[65]
Oyster	AEW	30	<i>V. parahaemolyticus</i> <i>Vibrio vulnificus</i>	8.94 log CFU/mL	Immersion	4 to 6 h	[66]
Clams and mussels	AEW	20	<i>E. coli</i> O104:H4	9 log CFU/mL	Immersion	1 to 2 h	[67]
	BEW	10	<i>L. monocytogenes</i> <i>V. parahaemolyticus</i> <i>Aeromonas hydrophila</i>				

^a Non determined; ^b For aerobic, coliforms, yeast and mould, inoculum concentration values were obtained from the no-treatment group.

12.2. SES neutra en carne de pescado

El crecimiento de microorganismos ocurre más rápidamente en pescado que en las carnes de otras especies, debido a que el pH (~6.2) es más alto (Comi, 2017). La carne de algunas especies marinas como el salmón del Atlántico se han evaluado tratándolos con SES neutra. En el caso del salmón del Atlántico la mayor reducción bacteriana se observó a 65°C después de 10 min para salmón tratado con SES neutra con pH 6.8, con

una reducción de 5.6 log₁₀ UFC/g para *L. monocytogenes*. En general, SES mostró mejores propiedades antimicrobianas, particularmente cuando se combinó con un procesamiento térmico suave y también causó menos alteración en la estructura de la proteína del pescado (Iram et al., 2021; Ovissipour et al., 2018). SES neutra demostró tener propiedades antimicrobianas más fuertes en comparación con SES ácida o alcalina.

Por otro lado, Feliciano et al., (2010) evaluó la efectividad de SES, un desinfectante orgánico ácido PRO-SAN (0.1% y 0.5%) y agua de grifo (control) en forma de escamas de hielo en filetes de pescado tilapia. Los filetes se inocularon con 7.1 log₁₀ UFC/g de *E. coli* K-12 (**Figura 12.2.**), *Listeria innocua* (**Figura 12.3.**) y *Pseudomonas putida* (**Figura 12.4.**). El estudio mostró una reducción significativa para *E. coli* (0.5 log₁₀ UFC/g después de 72h) y *P. putida* (0.4 log₁₀ UFC/g después de 36h), mientras que para *L. innocua* no se mostró diferencia significativa del uso de SES con respecto a el uso de PRO- SAN y agua de grifo.

SES tiene el potencial de reducir la carga bacteriana cuando se usa como hielo, pero sin mostrar una reducción significativa. Aunque el hielo desinfectado no pareció reducir significativamente la carga bacteriana en los filetes de pescado, la cantidad de organismos no aumentó más de lo que se observó con el hielo no desinfectado, por lo tanto, se concluyó que SES neutra podría agregarse al hielo utilizado para almacenar filetes de

pescado enteros y para reducir la carga bacteriana en el agua a medida que se derrite (Feliciano et al., 2010; Orejel & CanoBuendía, 2020).

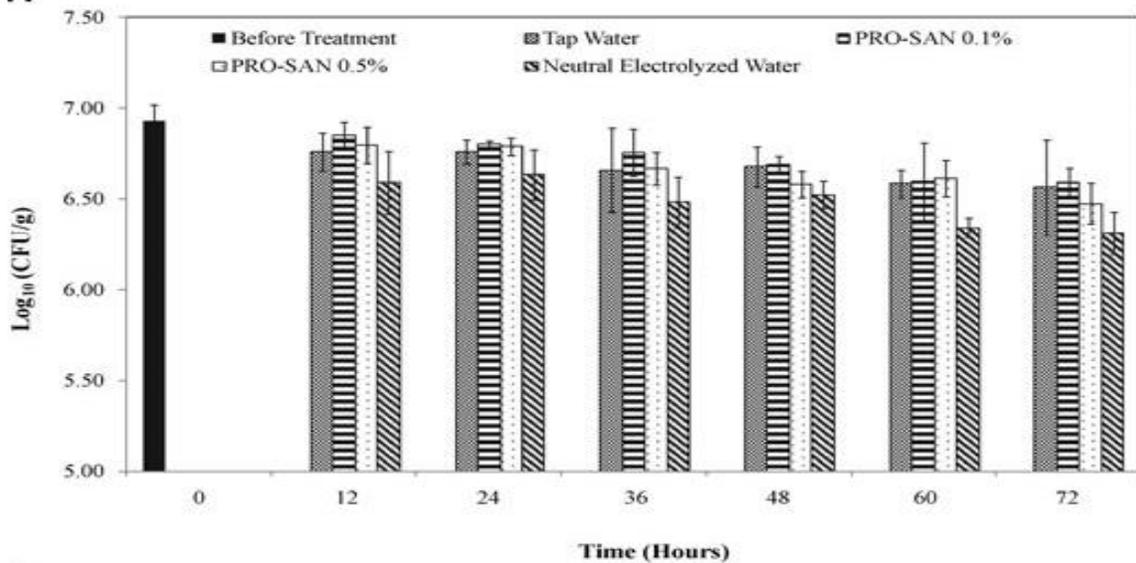


Figura 12.2. Efecto del hielo sanitizado en la reducción de *E. coli* K-12 en la superficie de filetes de pescado

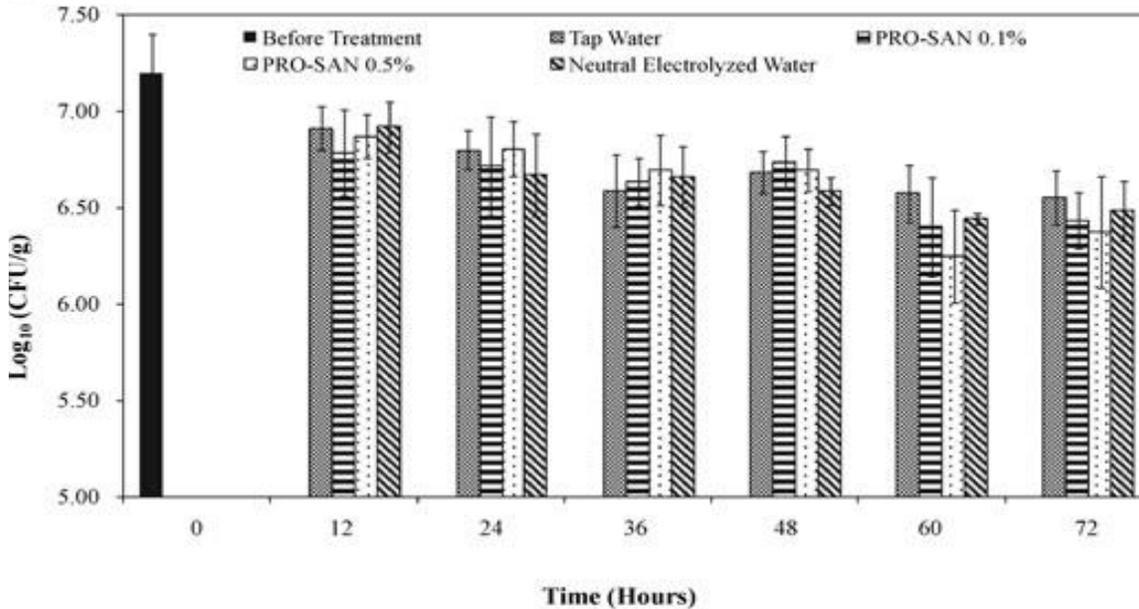


Figura 12.3. Efecto del hielo sanitizado en la reducción de *L. innocua* en la superficie de los filetes de pescado.

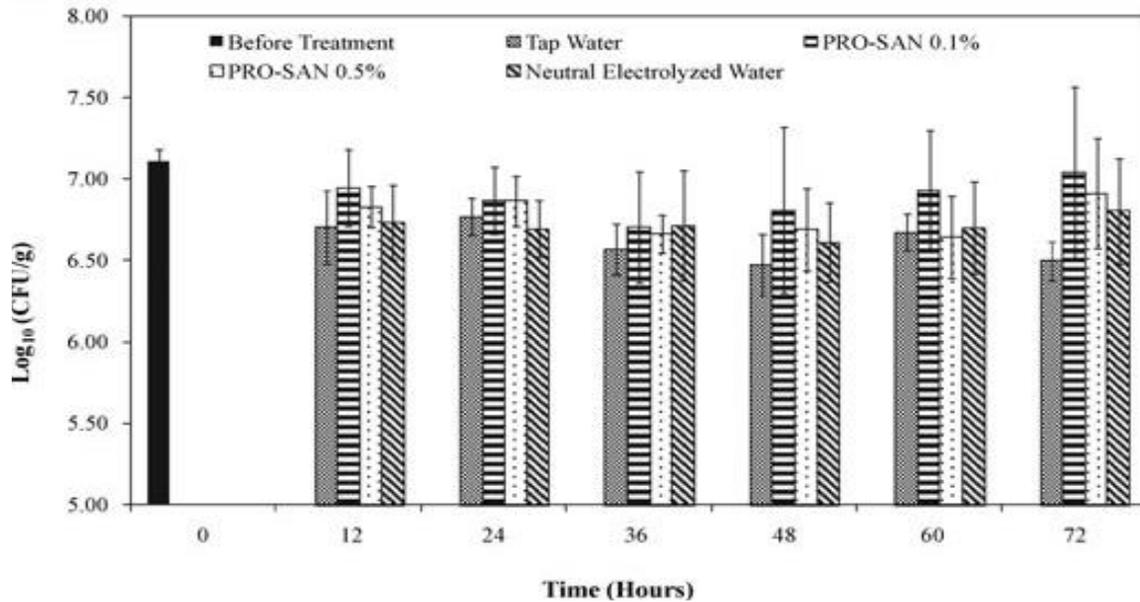


Figura 12.4. Efecto del hielo sanitizado en la reducción de *P. putida* en la superficie de los filetes de pescado.

A pesar de que la carne de pescado puede ser una superficie óptima donde se podría aplicar SES neutra dado que su pH normal es muy cercano a la neutralidad (~ 6.2), hoy en día aún son limitados los estudios realizados de SES neutra en pescado, a pesar de que los resultados han demostrado que puede utilizarse para mejorar la calidad y la seguridad del pescado fresco o en productos de pescado curados y ahumados listos para el consumo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En la mayoría de los artículos revisados se logró demostrar la efectividad de SES en la carne de diferentes especies con reducciones ≥ 1 log UFC/g para los principales microorganismos responsables de ETA's. Sin embargo, a lo largo de toda la investigación se pueden resaltar puntos clave acerca de su uso en carne.

La temperatura (calentamiento leve entre 30 – 60 °C), la concentración de cloro disponible y el tiempo (>10 min para disminuir la contaminación) son los factores principales que influyen significativamente en la eficacia de SES, siendo la concentración de cloro disponible el factor que más afecta la actividad bactericida de SES por encima del tiempo de tratamiento y la temperatura.

La mayor efectividad contra bacterias Gram negativas es de SES combinada con calentamiento debido al efecto de la temperatura sobre las membranas celulares, aumentando su fluidez a temperaturas más altas (Ding et al., 2016; Y. R. Huang et al., 2008; Yan & Daliri, 2021). Como resultado, el desinfectante ingresa a un ritmo más rápido que a temperaturas más bajas. La actividad de SES es reducida por compuestos orgánicos asociados con la carne (residuos de sangre por deficiencias en las plantas de procesamiento) debido a que proteínas y/o grasas pueden reducir la eficacia antimicrobiana de los desinfectantes, disminuyendo la concentración de cloro libre (Vandekinderen et al., 2009). Un pretratamiento de limpieza de residuos

orgánicos puede resultar en un efecto bactericida más eficiente ya que la presencia de materia orgánica y residuos sanguíneos en la solución de inmersión disminuye el cloro libre disponible y por lo tanto la capacidad de SES para desinfectar.

En varios de los artículos también se ha demostrado que la efectividad de SES puede ser aumentada cuando se crea un sinergismo con otros compuestos antimicrobianos como aceites esenciales, polifenoles, gas CO₂, hielo en suspensión, etc. Aumentando la vida útil de la carne entre 6 y 20 días sin observar cambios significativos en la calidad sensorial.

En general SES (ácida, ligeramente ácida o neutra) logró mantener la calidad sensorial de la carne de res, cerdo, ave y pescado (Al-Holy & Rasco, 2015; Nowsad et al., 2020; Orejel & CanoBuendía, 2020).

El uso de SES neutra demostró tener características y efectos positivos para la conservación de la carne como ser menos corrosiva que SES ácida, reducción de las reacciones de oxidación proteica, protección contra la desnaturalización de proteínas y, por consiguiente, mantener por más tiempo las características sensoriales de la carne. Aunque SES neutra cuenta con muchas ventajas por encima de las otras SES, su uso aún es limitado y en algunos casos nulo ya que, dado que la carne de res, cerdo y aves presentan un pH normal $\sim 5.6 - 6.0$ y el aumento de este causaría cambios negativos en la calidad sensorial y funcional de la carne, lo que explicaría por qué no es una alternativa viable y en la mayoría de los casos se prefiere SES

ligeramente ácida. En el caso particular de la carne de pescado el uso de SES neutra podría ser una alternativa prometedora ya que su pH es muy cercano a la neutralidad (>6.2) y su uso no afectaría significativamente la calidad sensorial de esta (Du et al., 2016; Quan et al., 2010).

CONCLUSIONES

GENERALES

Se ha demostrado que la solución electrolizada de superoxidación (SES) es muy eficaz como desinfectante para carnes de diferentes especies, siendo SES ácida y ligeramente ácida las más utilizadas, por encima de SES neutra o alcalina. Sin embargo, SES neutra demostró ser un desinfectante eficaz que no daña la estructura proteica de la carne como lo hace el pH ácido de SES ácida que acelera la actividad proteolítica responsable del ablandamiento progresivo de los tejidos, manteniendo por mayor tiempo la calidad fisicoquímica y sensorial de la carne de cerdo, ave y pescado. Por lo que SES neutra representa una alternativa segura para la intervención antimicrobiana tomando en cuenta que también sus costos de producción competitivos, manejo seguro, baja capacidad de corrosión y baja toxicidad debido a la falta de generación de subproductos.

Para tener una utilización más efectiva de SES, es conveniente un pretratamiento de la carne con agua limpia para eliminar la sangre y cualquier residuo de materia orgánica antes de la aplicación, y el uso de SES durante intervalos de tiempo prolongados.

PARTICULARES

El uso de SES ácida y ligeramente ácida para descontaminar carne de res fue eficaz en la reducción de *E. coli* O157: H7 (Al-Holy & Rasco, 2015). En

carne de cerdo demostró ser efectiva como desinfectante para reducir *Campylobacter spp.* Sin embargo, se necesita un mayor tiempo de contacto (> 10 min) para reducir eficazmente otros patógenos como *S. typhimurium*, *L. monocytogenes*, *E. Coli* y Coliformes totales.

SES ácida es menos eficaz contra *Salmonella typhimurium* en carne de aves que ácido acético y fosfato trisódico, pero es una alternativa viable con respecto a costos y menos daño al medio ambiente. SES ácida resultó ser la más usada para la desinfección de carne de pescado contra *Vibrio parahaemolyticus*, *E. coli O157: H7*, *Salmonella typhimurium* y *L. monocytogenes*.

SES ácida no afectó características fisicoquímicas, sensoriales y no aceleró la oxidación de lípidos en carne fresca de las cuatro especies; sin embargo, sí oxida a la proteína de cerdo poco después de la aplicación debido a la concentración de cloro disponible que oxida a la mioglobina.

No se encontró suficiente evidencia que demuestre la eficacia del uso de SES alcalina o neutra para carne de res, esto debido a que el aumento del pH de la carne por el uso de este tipo de desinfectante alteraría de forma negativa los atributos sensoriales y fisicoquímicos.

En el caso de la carne de cerdo, SES neutra es eficaz para reducir *Yersinia enterocolitica*, siendo esta más resistente en comparación con *E. coli O157: H7* y *Salmonella*, lo que indica que se necesitan otras tecnologías o métodos de tratamiento sinérgicos para su control.

Los trabajos del uso de la SES neutra en carne de pollo aún son pocos, pero ha demostrado ser una alternativa eficaz contra microorganismos patógenos, además de ser 10 veces más efectiva que NaClO (hipoclorito de sodio) contra *Salmonella typhimurium* en carne de pollo.

SES neutra es eficaz como desinfectante y evita la desnaturalización de proteínas, debido al pH neutro y la forma disponible de cloro que no dañan de manera crítica los tejidos de la carne de pescado. Se sugiere realizar más trabajos experimentales que permitan demostrar su eficacia contra *Vibrio parahaemolyticus* ya que la información sobre su uso en pescado fresco aún es limitada.

REFERENCIAS

- Abadias, M., Usall, J., Oliveira, M., Alegre, I., & Viñas, I. (2008). Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 123(1-2), 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008>
- Al-Holy, M. A., & Rasco, B. A. (2015). *The bactericidal activity of acidic electrolyzed oxidizing water against Escherichia coli O157:H7, Salmonella Typhimurium, and Listeria monocytogenes on raw fish, chicken and beef surfaces.* <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.017>
- Alvaro Bresciano. (2018). *Evaluación de la utilización de agua electroactivada como sustituto del hipoclorito de sodio en el procesado de vegetales.*
- Ampiauw, R. E., Yaqub, M., & Lee, W. (2021). Electrolyzed water as a disinfectant: A systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid. *Journal of Water Process Engineering*, 43(May). <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102228>
- Antunes, P., Mourão, J., Campos, J., & Peixe, L. (2016). Salmonellosis:

- The role of poultry meat. *Clinical Microbiology and Infection*, 22(2), 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.12.004>
- Ashrafudoulla, M., Na, K. W., Hossain, M. I., Mizan, M. F. R., Nahar, S., Tousehik, S. H., Roy, P. K., Park, S. H., & Ha, S. Do. (2021). Molecular and pathogenic characterization of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from seafood. *Marine Pollution Bulletin*, 172(September), 112927. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112927>
- Athayde, D. R., Flores, D. R. M., da Silva, J. S., Genro, A. L. G., Silva, M. S., Klein, B., Mello, R., Campagnol, P. C. B., Wagner, R., de Menezes, C. R., Barin, J. S., & Cichoski, A. J. (2017). Application of electrolyzed water for improving pork meat quality. *Food Research International*, 100(August), 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.009>
- Bantawa, K., Rai, K., Subba Limbu, D., & Khanal, H. (2018). Food-borne bacterial pathogens in marketed raw meat of Dharan, eastern Nepal. *BMC Research Notes*, 11(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3722-x>
- Bari, M. L., & Yeasmin, S. (2018). Foodborne Diseases and Responsible Agents. In *Food Safety and Preservation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814956-0.00008-1>
- Bing, S., Zang, Y., Li, Y., Zhang, B., Mo, Q., Zhao, X., & Yang, C. (2022). A combined approach using slightly acidic electrolyzed water and tea

- polyphenols to inhibit lipid oxidation and ensure microbiological safety during beef preservation. *Meat Science*, 183(May 2021), 108643. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108643>
- Bottone, E. J. (1999). *Yersinia enterocolitica*: Overview and epidemiologic correlates. *Microbes and Infection*, 1(4), 323–333. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(99\)80028-8](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(99)80028-8)
- Brauns, J., Schönebeck, J., Kraglund, M. R., Aili, D., Hnát, J., Žitka, J., Mues, W., Jensen, J. O., Bouzek, K., & Turek, T. (2021). Evaluation of Diaphragms and Membranes as Separators for Alkaline Water Electrolysis. *Journal of the Electrochemical Society*, 168(1), 014510. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/abda57>
- Carlos Cabello Gutiérrez, Dora Patricia Rosete Olvera, M. E. M. Z. (2010). *Efecto de una solución electrolizada de superoxidación con pH neutro sobre la infección del virus de influenza A en células MDCK*. 22, 280–287.
- Carpentier, B., & Cerf, O. (1993). Biofilms and their consequences, with particular reference to hygiene in the food industry. In *Journal of Applied Bacteriology* (Vol. 75, Issue 6, pp. 499–511). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1993.tb01587.x>
- Carrasco, Z., Renato, I., Lozano, C., Zúñiga Carrasco Av Tecnológico Mz, R., del Carmen, P., de Solidaridad, M., & Roo Dirección, Q. (2017). Enfermedades transmitidas por los alimentos: una mirada puntual

para el personal de salud. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 37(3), 95–104.

Castañeda, P. E., Díaz Aparicio, E., Hernández Andrade, L., & Jaramillo Arango, C. J. (2001). Identification and typing of *Yersinia enterocolitica* biotypes and serotypes isolated. *Revista de Saude Publica*, 35(4), 380–384. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102001000400008>

Catalina Aguilar & Bernadette Klotz. (2011). *Inhibición del crecimiento de Escherichia coli por bacterias ácido lácticas: presencia de quórum sensing?*

Christopher A. Broberg, T. J. C. & K. O. (2012). *Vibrio parahaemolyticus* cell biology and pathogenicity determinants. *Microbes Infect*, 13.

Comi, G. (2017). Spoilage of Meat and Fish. In *The Microbiological Quality of Food: Foodborne Spoilers*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100502-6.00011-X>

Cutter, C. N., Senevirathne, R. N., Chang, V. P., Cutaia, R. B., Fabrizio, K. A., Geiger, A. M., Valadez, A. M., & Yoder, S. F. (2012). Major microbiological hazards associated with packaged fresh and processed meat and poultry. In *Advances in Meat, Poultry and Seafood Packaging*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095718.1.1>

Das, A. K., Nanda, P. K., Das, A., & Biswas, S. (2019). Hazards and safety

- issues of meat and meat products. In *Food Safety and Human Health*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00006-0>
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: A critical review. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(4), 486–510. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>
- Denise Gómez- Espinosa, A. M.-A. (2018). El agua electrolizada ua alternativa para la desinfección y destoxificación. *Ingeniería e Investigación*, 8, 1–3. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n8.19417>
- Ding, T., Oh, D. H., & Liu, D. (2019a). Electrolyzed water in food: Fundamentals and applications. In *Decontamination Efficacy and Principles of Electrolyzed Water*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
- Ding, T., Oh, D. H., & Liu, D. (2019b). Electrolyzed water in food: Fundamentals and applications. In *Electrolyzed Water in Food: Fundamentals and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
- Ding, T., Rahman, S. M. E., Purev, U., & Oh, D. H. (2010). Modelling of *Escherichia coli* O157:H7 growth at various storage temperatures on beef treated with electrolyzed oxidizing water. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 497–503.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.11.007>

Ding, T., Xuan, X. T., Li, J., Chen, S. G., Liu, D. H., Ye, X. Q., Shi, J., & Xue, S. J. (2016). Disinfection efficacy and mechanism of slightly acidic electrolyzed water on *Staphylococcus aureus* in pure culture. *Food Control*, *60*, 505–510.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.037>

Du, S., Zhang, Z., Xiao, L., Lou, Y., Pan, Y., & Zhao, Y. (2016). Acidic electrolyzed water as a novel transmitting medium for high hydrostatic pressure reduction of bacterial loads on shelled fresh shrimp. *Frontiers in Microbiology*, *7*(MAR), 1–12.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00305>

Europea, U. (2013). *Comision Europea. 2014*, 2–32.

European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control (EFSA and ECDC). (2019). The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, *17*(12).

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5926>

Fabrizio, K. A., & Cutter, C. N. (2004). Comparison of electrolyzed oxidizing water with other antimicrobial interventions to reduce pathogens on fresh pork. *Meat Science*, *68*(3), 463–468.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.04.013>

Faustman, C., & Suman, S. P. (2017). The Eating Quality of Meat: I-Color. In *Lawrie's Meat Science: Eighth Edition*. Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00011-X>

Feliciano, L., Lee, J., Lopes, J. A., & Pascall, M. A. (2010). Efficacy of sanitized ice in reducing bacterial load on fish fillet and in the water collected from the melted ice. *Journal of Food Science*, 75(4), 231–238. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01583.x>

Ferrari, R. G., Rosario, D. K. A., Cunha-Neto, A., Mano, S. B., Figueiredo, E. E. S., & Conte-Juniora, C. A. (2019). Worldwide epidemiology of Salmonella serovars in animal-based foods: A meta-analysis. In *Applied and Environmental Microbiology* (Vol. 85, Issue 14). <https://doi.org/10.1128/AEM.00591-19>

Food safety and Inspection Service, F. (2021). *Safe and Suitable Ingredients Used in the Production of Meat, Poultry and Egg Products - Revision 56 | Food Safety and Inspection Service*. <https://www.fsis.usda.gov/policy/fsis-directives/7120.1>

G. Balakrish NAir, Thandavarayan Ramamurthy, Sujit K. Bhattacharya, Basabjit Dutta, Y. T. and D. A. S. (2007). Global Dissemination of Vibrio parahaemolyticus Serotype O3_K6 and Its Serovariants. *Clinical Microbiology Reviews*, 20(1).

Gonçalves Lemos, J., Stefanello, A., Olivier Bernardi, A., Valle Garcia, M., Nicoloso Magrini, L., Cichoski, A. J., Wagner, R., & Venturini Copetti, M. (2020). Antifungal efficacy of sanitizers and electrolyzed waters against toxigenic Aspergillus. *Food Research International*,

137(March), 109451.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109451>

Han, D., Hung, Y. C., & Wang, L. (2018). Evaluation of the antimicrobial efficacy of neutral electrolyzed water on pork products and the formation of viable but nonculturable (VBNC) pathogens. *Food Microbiology*, 73, 227–236.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.023>

Heredia, N., Dávila Aviña, J., Solís Soto, L., & García, S. (2014). Productos cárnicos: principales patógenos y estrategias no térmicas de control. *Nacameh*, 8(1), 20–42.

Heredia, N., & García, S. (2018). Animals as sources of food-borne pathogens: A review. *Animal Nutrition*, 4(3), 250–255.
<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.006>

Hernández-Pimentel, V. M., Regalado-González, C., Nava-Morales, G. M., Meas-Vong, Y., Castañeda-Serrano, M. P., & García-Almendárez, B. E. (2020). Effect of neutral electrolyzed water as antimicrobial intervention treatment of chicken meat and on trihalomethanes formation. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(3), 622–635.
<https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.04.001>

Hoffmann, S., & Scallan, E. (2017). Epidemiology, Cost, and Risk Analysis of Foodborne Disease. In *Foodborne Diseases: Third Edition* (Third Edit, Vol. 2010). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

385007-2.00002-4

- Hricova, D., Stephan, R., & Zweifel, C. (2008). Electrolyzed water and its application in the food industry. *Journal of Food Protection*, 71(9), 1934–1947. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.9.1934>
- Huang, Y.-R., Hsieh, H.-S., Lin, S.-Y., Lin, S.-J., Hung, Y.-C., & Hwang, D.-F. (2006). Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood. *Science Direct. Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.07.003>
- Huang, Y. R., Hung, Y. C., Hsu, S. Y., Huang, Y. W., & Hwang, D. F. (2008). Application of electrolyzed water in the food industry. *Food Control*, 19(4), 329–345. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.08.012>
- Iram, A., Wang, X., & Demirci, A. (2021a). Electrolyzed Oxidizing Water and Its Applications as Sanitation and Cleaning Agent. *Food Engineering Reviews* (2021), 1(13), 3. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09278-9>
- Iram, A., Wang, X., & Demirci, A. (2021b). Electrolyzed Oxidizing Water and Its Applications as Sanitation and Cleaning Agent. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 411–427. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09278-9>
- Issenhuth-Jeanjean, S., Roggentin, P., Mikoleit, M., Guibourdenche, M., De Pinna, E., Nair, S., Fields, P. I., & Weill, F. X. (2014). Supplement

2008-2010 (no. 48) to the White-Kauffmann-Le Minor scheme. *Research in Microbiology*, 165(7), 526–530. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2014.07.004>

Iulietto, M. F., Sechi, P., Borgogni, E., & Cenci-Goga, B. T. (2015). Meat spoilage: A critical review of a neglected alteration due to ropy slime producing bacteria. In *Italian Journal of Animal Science* (Vol. 14, Issue 3, pp. 316–326). <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4011>

Ivanova, N., Gugleva, V., Dobрева, M., Pehlivanov, I., Stefanov, S., & Andonova, V. (2021). Meat Borne Diseases. *Intech, i(tourism)*, 13.

Jessen, B., & Lammert, L. (2003). Biofilm and disinfection in meat processing plants. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 51(4), 265–269. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00046-5)

Jure, M. A., Condorí, M. S., Terrazzino, G. P., Catalán, M. G., Campo, A. L., Zolezzi, G., Chinen, I., Rivas, M., & Castillo, M. (2015). Aislamiento y caracterización de *Escherichia coli* O157 en productos cárnicos bovinos y medias reses en la provincia de Tucumán. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(2), 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.03.006>

Kaczmarek, M., Avery, S. V., & Singleton, I. (2019). Microbes associated with fresh produce: Sources, types and methods to reduce spoilage and contamination. In *Advances in Applied Microbiology* (1st ed., Vol. 107). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2019.02.001>

- Kadigia Pegoraro, Mallu Jagnow Sereno, Cibeli Viana, Bruna Tores Furtado Martins, Ricardo Seiti Yamatogi, Luis Augusto Nero, L. dos S. B. (2021). Pathogenic potential and antibiotic resistance of *Yersinia enterocolitica*, a foodborne pathogen limited to swine tonsils in a pork production chain from southern Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*.
- Kwaasi, A. A. A. (2003). *Classification of Microorganisms*. 3877–3885.
- Lianou, A., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. E. (2017). Meat Safety-I Foodborne Pathogens and Other Biological Issues. In *Lawrie's Meat Science: Eighth Edition*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00017-0>
- Lin, H. M., Hung, Y. C., & Deng, S. G. (2020). Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets. *Food Control*, 112(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107117>
- Lonergan, S. M., Topel, D. G., & Marple, D. N. (2019). Meat microbiology and safety. *The Science of Animal Growth and Meat Technology*, 183–204. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815277-5.00012-3>
- Mabel Susana Centurión Puma & Milagros Elizabeth Takajara Santander. (2004). *Determinación de la incidencia de Listeria monocytogenes en pollos frescos y verduras frescas obtenidos en mercados y centros de abastecimiento de Lima*.

- Mansur, A. R., Tango, C. N., Kim, G. H., & Oh, D. H. (2015). Combined effects of slightly acidic electrolyzed water and fumaric acid on the reduction of foodborne pathogens and shelf life extension of fresh pork. *Food Control*, 47, 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.019>
- Marcelo Signorini. (2007). Microbiología de carnes envasadas al vacío y la biopreservación como medio para prolongar la vida de anaquel. *Nacameh, ISSN-e 2007-0373, Vol. 1, N°. 1, 2007, Págs. 26-40, 1(1), 26–40*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3986981>
- Maryase Bonnin- Jusserand, Stéphanie Copin, Cedric Le Bris, Thomas Brauge, Mélanie Gay, Anne Brisabois, T. G. & G. M.-B. (2019). Vibrio species involved in seafood-borne outbreaks (*Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus* and *V. vulnificus*): Review of microbiological versus recent molecular detection methods in seafood products. *Food Science and Nutrition*, 59(4), 597–610.
- Minor Pérez, H.; Ponce Alquicira, E.; Macías Bravo, S.; Guerrero Legarreta, I. (2002). Conservación de la carne fresca de cerdo por fermentación láctica. Efecto sobre el color, la textura y la formación de los ácidos grasos libres. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 1(1-2), 73–80.
- Moghassem Hamidi, R., Shekarforoush, S. S., Hosseinzadeh, S., & Basiri, S. (2021). Evaluation of the effect of neutral electrolyzed water and

peroxyacetic acid alone and in combination on microbiological, chemical, and sensory characteristics of poultry meat during refrigeration storage. *Food Science and Technology International*, 27(6), 499–507. <https://doi.org/10.1177/1082013220968713>

Mohammed, H. H. H., He, L., Nawaz, A., Jin, G., Huang, X., Ma, M., Abdegadir, W. S., Elgasim, E. A., & Khalifa, I. (2021). Effect of frozen and refrozen storage of beef and chicken meats on inoculated microorganisms and meat quality. *Meat Science*, 175(December 2019), 108453. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108453>

Molognoni, L., Daguer, H., Motta, G. E., Merlo, T. C., & Lindner, J. D. D. (2019). Interactions of preservatives in meat processing: Formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents. *Food Research International*, 125(March), 108608. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108608>

Nair, M. S., Nair, D. V. T., Kollanoor Johny, A., & Venkitanarayanan, K. (2019). Use of food preservatives and additives in meat and their detection techniques. In *Meat Quality Analysis: Advanced Evaluation Methods, Techniques, and Technologies*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00012-4>

Nastasijević, I., Lakićević, B., & Petrović, Z. (2017). Cold chain management in meat storage, distribution and retail: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 85(1).

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012022>

Nowsad, A. A. K. M., Dad Khan, N., Muhammad, ., Hasan, M., Syed, ., Rahman, E., Araki, T., & Yoshimatsu, T. (2020). Efficacy of electrolyzed water against bacteria on fresh fish for increasing the shelf-life during transportation and distribution. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 15, 351–362.
<https://doi.org/10.1007/s00003-020-01288-9>

O'Brien, L. J. G. and A. D. (2000). Escherichia coli O157:H7 in beef cattle presented for slaughter in the U. S.: Higher prevalence rates than previously estimated. *Department of Microbiology and Immunology, Uniformed Services University of the Health Sciences, 4301 Jones Bridge Road, Bethesda, MD 20814-4799*, 97(7), 2959–2961.

O'Bryan, C. A., Ricke, S. C., & Marcy, J. A. (2022). Public health impact of Salmonella spp. on raw poultry: Current concepts and future prospects in the United States. *Food Control*, 132(September 2021).
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108539>

OPS/OMS. (2020). *Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA). Inocuidad de Alimentos - Control Sanitario - HACCP*.
https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10836:2015-enfermedades-transmitidas-por-alimentos-eta&Itemid=41432&lang=es

Orejel, J. C. R., & CanoBuendía, J. A. (2020). Applications of electrolyzed

- water as a sanitizer in the food and animal-by products industry. In *Processes* (Vol. 8, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/PR8050534>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *E. coli*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Organización Mundial de la Salud, O. (2020, April 30). *Inocuidad de los alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Organización mundial de sanidad animal. (2018). Infección por *Campylobacter jejuni* y *C. coli*. In *Manual Terrestre de la OIE*.
- Ovissipour, M., Shiroodi, S. G., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. S. (2018). Electrolyzed water and mild-thermal processing of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Reduction of *Listeria monocytogenes* and changes in protein structure. *International Journal of Food Microbiology*, 276(April), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.04.005>
- Ozer, N. P., & Demirci, A. (2006). Electrolyzed oxidizing water treatment for decontamination of raw salmon inoculated with *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* Scott A and response surface modeling. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.038>
- PÉREZ, A. E. L. (2015). *Evaluación del dióxido de cloro como preservante*

en la conservación de pollos de engorde faenados en la empresa h & n. 119.

<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28263%0Awww.uta.edu.ec>

Quan, Y., Choi, K. D., Chung, D., & Shin, I. S. (2010). Evaluation of bactericidal activity of weakly acidic electrolyzed water (WAEW) against *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus*. *International Journal of Food Microbiology*, 136(3), 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.005>

Rafael Gómez Jaimes, Tania Villareal Barajas, Alfonso V´ squez López, R. I. A. G. y J. A. O. G. (2017). *Actividad esporicida de la solución electrolizada con pH neutro en hongos de importancia poscosecha* (pp. 3993–4007).

Rahman, S., Khan, I., & Oh, D. H. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 471–490. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200>

Rahman, S. M. E., Park, J., Song, K. Bin, Al-Harbi, N. A., & Oh, D. H. (2012). Effects of slightly acidic low concentration electrolyzed water on microbiological, physicochemical, and sensory quality of fresh chicken breast meat. *Journal of Food Science*, 77(1). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02454.x>

- Rahman, S. M. E., Wang, J., & Oh, D. H. (2013). Synergistic effect of low concentration electrolyzed water and calcium lactate to ensure microbial safety, shelf life and sensory quality of fresh pork. *Food Control*, 30(1), 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.06.041>
- Ranasinghe, R. A. S. S., Satharasinghe, D. A., Tang, J. Y. H., Rukayadi, Y., Radu, K. R., New, C. Y., Son, R., & Premarathne, J. M. K. J. K. (2021). Persistence of listeria monocytogenes in food commodities: Foodborne pathogenesis, virulence factors, and implications for public health. *Food Research*, 5(1), 1–16. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).199](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).199)
- Regalado-Pineda, I. D., Rodarte-Medina, R., Resendiz-Nava, C. N., Saenz-Garcia, C. E., Castañeda-Serrano, P., & Nava, G. M. (2020). Three-year longitudinal study: Prevalence of Salmonella enterica in chicken meat is higher in supermarkets than wet markets from Mexico. *Foods*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/foods9030264>
- Rosales, E. T. (2017). *Efecto bactericida de la solución electrolizada de superoxidación con pH neutro en carne de cerdo contaminada con Listeria monocytogenes y su posible uso como conservador*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sandra Milena Vasquez M., Hector Suárez M., S. Z. B. (2009). *Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas*

en la conservación de la carne.

Saucier, L. (2016). Microbial spoilage, quality and safety within the context of meat sustainability. *Meat Science*, *120*, 78–84.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.027>

Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M. A., Roy, S. L., Jones, J. L., & Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States-Major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, *17*(1), 7–15. <https://doi.org/10.3201/eid1701.P11101>

Sheng, X., Shu, D., Tang, X., & Zang, Y. (2018). Effects of slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of beef during refrigeration. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 6, Issue 7, pp. 1975–1981). <https://doi.org/10.1002/fsn3.779>

Shiroodi, S. G., & Ovissipour, M. (2018). Electrolyzed Water Application in Fresh Produce Sanitation. *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables*, 67–89. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812698-1.00003-0>

Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., & Kapoor, A. (2020). Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *19*(2), 1715–1735. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01126-2>

Sun, J., Jiang, X., Chen, Y., Lin, M., Tang, J., Lin, Q., Fang, L., Li, M.,

- Hung, Y.-C., & Lin, H. (2022). Recent trends and applications of electrolyzed oxidizing water in fresh foodstuff preservation and safety control. *Food Chemistry*, 369(August 2021), 130873. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130873>
- Tabernero de Paz, M. J., Bodas, R., Bartolomé, D., Posado, R., García, J. J., & Olmedo, S. (2013). Agua electrolizada como higienizante en producción animal: efectos en sanidad y productividad. *Archivos de Zootecnia*, 62, 13–23. <https://doi.org/10.21071/az.v62irev.1954>
- Torres-Rosales, E., Rivera-Garcia, A., Rosario-Perez, P. J., Ramirez-Orejuel, J. C., Paez-Esquiliano, D., Martinez-Vidal, S., Guzman-Olea, E., & Cano-Buendia, J. A. (2020). Application of Neutral Electrolyzed Water on pork chops and its impact on meat quality. In *Scientific Reports* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76931-4>
- U. S. Food Administration. (2020). *Facts about Listeria | FDA*. <https://www.fda.gov/animal-veterinary/animal-health-literacy/get-facts-about-listeria>
- Vandekinderen, I., Devlieghere, F., Van Camp, J., Kerkaert, B., Cucu, T., Ragaert, P., De Bruyne, J., & De Meulenaer, B. (2009). Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide. *International Journal of Food Microbiology*, 131(2–3), 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.02.004>

- Villarreal-Barajas, T., Vázquez-Durán, A., & Méndez-Albores, A. (2021). Effectiveness of electrolyzed oxidizing water on fungi and mycotoxins in food. *Food Control*, 131(March 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108454>
- Wang, D., Yamaki, S., Kawai, Y., & Yamazaki, K. (2020). Sanitizing efficacy and antimicrobial mechanism of peracetic acid against histamine-producing bacterium, *Morganella psychrotolerans*. *Lwt*, 126(December 2019), 109263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109263>
- Wang, H., Duan, D., Wu, Z., Xue, S., Xu, X., & Zhou, G. (2019). Primary concerns regarding the application of electrolyzed water in the meat industry. *Food Control*, 95(June 2018), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.049>
- Whyte, P., Bolton, D., Pedros-Garrido, S., Lynch, H., Emanowicz, M., Greene, G., & Fanning, S. (2022). *Campylobacter* spp. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 4(October 2019), 419–430. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00984-7>
- Williams, M. S., Ebel, E. D., & Nyirabahizi, E. (2021). Comparative history of *Campylobacter* contamination on chicken meat and campylobacteriosis cases in the United States: 1994–2018. *International Journal of Food Microbiology*, 342(April 2020), 109075. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109075>

- World Health Organization (WHO). (2020). *Food safety*. Food Safety. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- World Health Organization & Food And Agriculture Organization Of The United Nations. (2009). *Risk assessment of Campylobacter spp. in broiler chickens : technical report*.
- Yan, P., & Daliri, E. B. (2021). *New Clinical Applications of Electrolyzed Water : A Review*.
- Zagorec, M., & Champomier-Vergès, M. C. (2017). Meat Microbiology and Spoilage. *Lawrie's Meat Science: Eighth Edition*, 187–203. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00006-6>
- Zdolec, N., & Kiš, M. (2021). Meat safety from farm to slaughter—risk-based control of yersinia enterocolitica and Toxoplasma gondii. In *Processes* (Vol. 9, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/pr9050815>
- Zhang, W., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Application of electrolyzed water in postharvest fruits and vegetables storage: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 114(September 2020), 599–607. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.005>
- Zhang, X., Wang, S., Chen, X., & Qu, C. (2021). Review controlling *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat and poultry products: An overview of outbreaks, current legislations, challenges, and future prospects. *Trends in Food Science and Technology*, 116(July), 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.014>

- Zhao, L., Li, S., & Yang, H. (2021). Recent advances on research of electrolyzed water and its applications. *Current Opinion in Food Science*, 41(Cdc), 180–188.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.03.004>
- Zhou, G. H., Xu, X. L., & Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat - A review. *Meat Science*, 86(1), 119–128.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.033>