



Universidad de Jaén

Facultad de Ciencias
Experimentales

Nuevas estrategias de control de bacterias patógenas en ambientes industriales

Autor: Rosa María López Quesada

Grado: Biología

Fecha: 24/06/2025



CREEA



Universidad de Jaén



Facultad de
Ciencias Experimentales

Trabajo de Fin de Grado

Nuevas estrategias de control de bacterias patógenas en ambientes industriales

Rosa M. López

Alumno/a: Rosa María López Quesada

Jaén, Junio, 2025

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1.INTRODUCCIÓN	2
1.1 Definición de bacterias patógenas y clasificación	2
1.2 Importancia del control de bacterias patógenas en la industria	3
1.3. Control en la industria alimentaria	4
1.3.1. Industria cárnica	4
1.3.2. Industria láctea	4
1.3.3. Industria pesquera	5
1.4 Algunas de las estrategias de control tradicionales	6
1.4.1. Procesos de secado	6
1.4.2 Procesos de salado	6
1.4.3 Fermentación	7
1.5 Nuevas Estrategias de control	8
1.5.1. Métodos físicos avanzados	8
1.5.1.1. Plasma frío	8
1.5.1.2. Ultrasonido de alta intensidad	8
1.5.1.3. Campos eléctricos pulsados (PEF, Pulsed Electric Fields)	9
1.5.1.4. Atmósferas modificadas y envasado activo	10
1.5.2. Métodos químicos innovadores	11
1.5.2.1. Biosensores para detección rápida de patógenos	11
1.5.2.2. Conservantes naturales y bioconservación	12
1.5.3. Métodos biotecnológicos avanzados	13
1.5.3.1. Bacterias para desinfección.	13
1.5.3.2. Fagos (bacteriófagos) como biocontrol	14
1.5.3.3. Enzimas antimicrobianas	14
2. OBJETIVOS	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4. RESULTADOS	19
5. DISCUSIÓN	25
6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS	28
7. BIBLIOGRAFÍA	30

RESUMEN

La resistencia bacteriana es un problema creciente que afecta directamente a la salud de la población. Es por ello, que las técnicas de control de microorganismos patógenos en las industrias son claves para obtener la seguridad microbiológica de los productos que consumimos. Las técnicas de control tradicionales cada vez hacen menos frente a la resistencia bacteriana, por lo que es crucial el desarrollo de nuevos métodos de control de microorganismos patógenos que resulten efectivos. El objetivo principal de dicho estudio fue evaluar las estrategias de control más novedosas con el fin de mejorar la bioseguridad, concretamente en la industria alimentaria, la cual es la más perjudicada y la que afecta con mayor frecuencia a los consumidores. Se recopiló toda la información encontrada referente a publicaciones de carácter científico, considerada relevante, para poder desarrollar correctamente el presente trabajo, pudiéndose obtener finalmente, una impresión general sobre la situación actual, caracterizada por la aplicación predominante de métodos de carácter físico y químico, así como sobre las futuras tendencias que apuntan a la centralización de técnicas de carácter biotecnológico.

Palabras clave: microorganismos patógenos, técnicas de control, industria alimentaria, biofilms.

ABSTRACT

Bacterial resistance is a growing problem that directly affects public health. For this reason, techniques for controlling pathogenic microorganisms in industrial settings are key to ensuring the safety of the products we consume. Traditional control methods are increasingly ineffective against bacterial resistance, making it crucial to develop new, effective pathogen control strategies. The main objective of this study was to evaluate the most innovative control strategies in order to improve biosecurity, particularly in the food industry, which is the most affected and the one that most frequently impacts consumers. All relevant scientific publications were compiled to properly develop this work, ultimately allowing for a general overview of the current situation, which is characterized by the predominant application of physical and chemical methods, as well as future trends that point toward the centralization of biotechnological techniques.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición de bacterias patógenas y clasificación.

Se pueden definir a las bacterias patógenas como microorganismos con capacidad de causar enfermedades infecciosas tanto en humanos, como animales o plantas. Por tanto, la patogenicidad se define como la cualidad que tiene una bacteria para producir una enfermedad infecciosa en su huésped (*Garzon et al., 2022*).

Una infección es el resultado de la interacción entre un microorganismo patógeno y un huésped en un entorno determinado. Una enfermedad infecciosa es la manifestación clínica de la infección así como sus síntomas que demuestran los daños causados por el microorganismo en cuestión en el cuerpo de la persona infectada (*Garzon et al., 2022*).

Su clasificación se puede dar según el tipo de microorganismo que cause enfermedades o en función de los síntomas que produce en la persona infectada. Desde el punto de vista microbiológico, se pueden clasificar según los agentes etiológicos responsables de la infección. *García Palomo et al., (2010)* los clasificó de esta forma, de manera que podemos distinguir los siguientes grupos:

1. Priones: son los de menor complejidad; se trata de una molécula proteica sin información genética.
2. Virus: cada uno tiene una especie única de ácido nucleico, transportando información genética para su autorreplicación.
3. Bacterias: contienen material genético y poseen capacidad de realizar replicación por sí mismas, independientemente de la célula huésped.
4. Eucariontes: encontraremos protozoos, hongos y helmintos, los cuales presentan una gran complejidad celular. (*García Palomo et al., 2010*).

Otra de las formas para clasificar a las bacterias patógenas es en función de la tinción de Gram que presenten, de forma que se pueden distinguir dos tipos: bacterias Gram positivas o bacterias Gram negativas. Esta característica va a depender de la estructura celular y el tipo de pared bacteriana que presenten (*Tripathi et al., 2025*).

Las bacterias Gram positivas presentan una gruesa capa de peptidoglicano, lo cual hace que se retenga el complejo cristal violeta-yodo y se pueden observar bajo el microscopio con una tinción de tonalidad morada. Entre este tipo de microorganismos se encuentran algunos como *Staphylococcus aureus*, *Clostridium spp.*, *Streptococcus pneumoniae* o *Bacillus anthracis*. En lo que respecta a las bacterias Gram negativas, estas poseen una capa de peptidoglicano de menor grosor así como una membrana rica en polisacáridos. Este tipo de bacterias se pueden observar en el microscopio con una tonalidad rosada. En este grupo se encuentran algunos microorganismos como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* o *Helicobacter pylori* (Tripathi et al., 2025).

1.2 Importancia del control de bacterias patógenas en la industria.

El control de microorganismos patógenos en el ámbito industrial es un aspecto clave para garantizar la salud del consumidor, especialmente en la industria alimentaria. Hay algunas bacterias que son las más frecuentes en alimentos y sobre las cuáles hay que actuar y controlar en gran medida para garantizar la inocuidad del producto. Dichas bacterias son *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* o *Staphylococcus aureus*; han sido las responsables de brotes causados en la población. Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) son consideradas como un desafío sanitario e industrial a nivel mundial. La cadena de producción de los alimentos pasa por muchas fases durante las cuales se puede producir contaminación cruzada, desde el procesamiento del alimento hasta su envasado, en los casos de algunos productos (Galié et al., 2018).

Actualmente, investigaciones revelan que las cepas bacterianas están presentando una preocupante resistencia a los antibióticos, lo cual hace más necesario la implementación de nuevas técnicas de control de microorganismos patógenos en el ámbito industrial. Las herramientas de detección temprana junto con los métodos de control son imprescindibles en la actualidad para evitar este problema. Por tanto, el control microbiológico en las industrias es una necesidad crítica para evitar brotes en la población, evitar reducciones económicas y asegurar la fiabilidad del consumidor hacia la industria así como garantizar su salud (Zhao et al., 2024).

1.3 Control en la industria alimentaria

1.3.1 Industria cárnica

Los productos cárnicos son los más consumidos a nivel mundial, además de ser por ello, los más implicados en enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs). Es este el motivo por el cual la presencia de bacterias en productos derivados de la industria cárnica representa una gran amenaza para la salud del consumidor (*Bhattacharya et al.,2022*). Las bacterias más frecuentes en la industria de carne y derivados, así como las responsables del retiro del mercado de lotes infectados son *Shigella*, *Bacillus spp.*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*. (*Bhattacharya et al.,2022*). En este tipo de industria, una de las principales amenazas es la formación de biofilms bacterianos, los cuales se pueden definir como complejas estructuras que actúan favoreciendo la persistencia microbiana en superficies de procesamiento (*Rahman et al.,2022*). Dentro del ámbito industrial, las superficies o maquinaria que estén en contacto con la carne pueden convertirse en puntos claves de presencia de microorganismos patógenos (*Carrascosa et al.,2022*). A su vez, un uso muy frecuente de productos químicos y desinfectantes puede hacer que se genere resistencia bacteriana. Por estos motivos resulta importante implementar nuevas técnicas de control de microorganismos patógenos, especialmente en entornos como las industrias cárnicas (*Nikolaev et al., 2022*)

1.3.2 Industria láctea

La industria láctea es un sector que se encuentra constantemente con el reto de garantizar la inocuidad microbiológica de sus productos. Esto es debido a que la leche y todos sus derivados son alimentos muy susceptibles a la contaminación bacteriana (*Ayivi et al.,2020*). Al igual que en la industria cárnica, uno de los principales desafíos en este sector es la formación de biofilms, formaciones estructurales de células microbianas que se pueden adherir a las superficies en las industrias, de forma que generan una barrera protectora frente a agentes químicos y desinfectantes (*Desmousseaux et al.,2025*). Los biofilms se pueden encontrar en cualquier superficie de los equipos presentes en las industrias del sector lácteo. En ellos podemos encontrar bacterias como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas spp.* o *Bacillus cereus* (*Goetz et al., 2024*).

Es por ello que los métodos tradicionales de desinfección y control de microorganismos pueden ser pocos efectivos cuando se trata de este tipo de estructuras bacterianas, de forma que no llegan a ser capaces de eliminar completamente dichos biofilms, especialmente en situaciones donde ya se han desarrollado durante períodos largos de tiempo (*Bénézech & Faille, 2020*). El desarrollo de los biofilms así como la resistencia bacteriana a los desinfectantes y a los métodos de control tradicionales, plantea la importancia de desarrollar estrategias de control microbiológico novedosas y que sean capaces de resolver estos problemas y garantizar la seguridad de los alimentos (*Goetz et al., 2024*).

1.3.3 Industria pesquera

La industria pesquera, así como la acuicultura se han convertido en un sector dinámico en los últimos años, responsables de satisfacer en gran medida las demandas mundiales. Por ello, resulta fundamental abordar todos los problemas que amenazan a dicho sector. La contaminación e infección de los organismos hidrobiológicos es el principal inconveniente (*Schoina et al., 2022*). En el sector pesquero, el control microbiológico es clave para asegurar la inocuidad de los productos y, con ello, la seguridad del consumidor. El pescado es susceptible a la proliferación de microorganismos patógenos debido a que es un producto muy perecedero (*Cai & Arias, 2017*). Entre los microorganismos patógenos que podemos encontrar en este sector destacan *Listeria Monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio spp.* y *Clostridium botulinum*. Estos patógenos se pueden incorporar al producto en cualquier fase del proceso de la cadena de producción, desde la captura del alimento hasta su envasado, en ciertos casos (*Roy et al., 2024*).

Uno de los aspectos claves en el control de proliferación microbiológica en este ámbito, es el monitoreo de la cadena del frío, un punto clave para inhibir el crecimiento de microorganismos y prevenir formación de toxinas, como la producida por *C. botulinum* en productos que estén envasados y/o procesados (FDA, 2024). En este sector también se da la formación de biofilms bacterianos que se pueden encontrar adheridos a superficies, como cuchillos o cintas transportadoras (*Schoina et al., 2022*). Es por ello, que las investigaciones encontradas inciden en la necesidad de incorporar nuevas técnicas de control adaptadas a los desafíos actuales de estos entornos industriales (*Zhang et al., 2024*).

1.4 Algunas de las estrategias de control tradicionales.

1.4.1 Procesos de secado.

El proceso de secado de alimentos se trata de uno de los métodos de control microbiológico y de conservación del alimento que más se utilizaba en las civilizaciones antiguas. Su grado de eficacia radica en que, al disminuir el contenido de humedad del producto en cuestión, se produce una inhibición de crecimiento de microorganismos patógenos y se prolonga la vida útil del alimento (*Shah et al., 2022*). Este tipo de estrategia presentaba limitaciones en su eficacia en función del tipo de microorganismos que estuviesen presentes, la temperatura a la que se encontrase el producto, la duración del proceso y el contenido hídrico presente al comienzo (*Alp & Bulantekin, 2021*). Estudios demuestran que las bacterias gram negativas, como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, presentan una mayor susceptibilidad a los procesos de secado que las bacterias gram positivas. Las bacterias gram positivas son capaces de sobrevivir a condiciones de baja humedad y bajo contenido hídrico, además de activarse una vez el producto recupera agua (*Chitrakar et al., 2018*). Uno de los principales inconvenientes que se encontraba en dicho proceso era el control exhaustivo que se necesitaba tener en cuanto a temperatura y humedad del ambiente, ya que, cualquier condición no deseada aumentaba el riesgo de proliferación de microorganismos y hacía que el alimento no fuese apto para el consumo (*Sagar & Kumar, 2010*). A día de hoy, dicho método sigue siendo una solución especialmente en ambientes rurales y/o países en desarrollo para conservar los alimentos (*Bourdoux et al., 2016*)

1.4.2 Procesos de salado.

A lo largo de la historia los métodos de salado de alimentos han sido una de las técnicas más utilizadas, especialmente para la conservación de carnes y pescados. Este proceso se basa en la adición de Cloruro de Sodio (NaCl), conocido comúnmente como sal, directamente sobre el alimento que se quiera conservar (*Knorr & Augustin, 2022*). Esto hace que se reduzca la actividad del agua presente en dicho alimento, de forma que se inhibe la proliferación y crecimiento bacterianos. El mecanismo concreto de acción se basa en que el NaCl produce un efecto de plasmólisis en las células bacterianas afectando negativamente a su viabilidad (*Da Silva Ferreira et al., 2013*).

Este método de control tradicional se puede realizar en seco, mediante fricción directa de sal en el alimento o aplicando soluciones salinas denominadas salmueras. El objetivo principal es la inhibición de microorganismos patógenos presentes en los productos como *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.* (Indiarto et al., 2021). La tasa de eficacia de este procedimiento se da en función de la concentración de NaCl, el tipo de producto al que se quiera aplicar, el pH y la temperatura a la que se almacene (Henney et al., 2010). Dicho método de salado debe considerarse como una herramienta microbiológica histórica que ha resultado ser clave para el control de microorganismos patógenos (Knorr & Augustin, 2022).

1.4.3 Fermentación.

La fermentación se trata de uno de los métodos de conservación más utilizados por las distintas civilizaciones en épocas anteriores, cuya información data de hace más de 7.000 años en zonas como Egipto o Mesopotamia (McGovern et al., 2004). Dicho método se basa en la adición de microorganismos como levaduras, mohos y bacterias lácticas a los alimentos. Estos microorganismos actúan transformando los azúcares naturales del alimento en ácidos orgánicos, etanol, dióxido de carbono y compuestos microbianos que impiden el crecimiento bacteriano (Praveen & Brogi, 2025).

La fermentación proporciona unas condiciones pobres en oxígeno y con presencia de metabolitos antimicrobianos que impiden el crecimiento de patógenos como *Listeria monocytogenes*, *E. coli*, *Salmonella spp.* y *Clostridium botulinum* (Marco et al., 2016). Este procedimiento se usaba en productos como cerveza, vino, pan, yogurt, encurtidos vegetales y productos cárnicos fermentados (Thierry et al., 2023). La fermentación no solo actuaba generando la resistencia del alimento ante el crecimiento microbiano sino que también disminuía el riesgo de intoxicaciones alimentarias, considerándose como un cimiento clave para dar lugar a métodos más modernos tales como probióticos o fermentación dirigida (Marco et al., 2021). Este método debe considerarse como una de las estrategias tradicionales más importantes que han contribuido a los conocimientos sobre técnicas de control novedosas que se dan en la actualidad (Hawaz et al., 2025).

1.5 Nuevas Estrategias de control

1.5.1 Métodos físicos avanzados

1.5.1.1. Plasma frío

El plasma frío o plasma no térmico se puede definir como un gas ionizado que puede albergar cargas libres, como electrones e iones, de forma parcial, radicales libres, átomos y moléculas excitadas, productos de conversión estables y fotones energéticos (Stoffels *et al.*, 2008). Es un procedimiento basado en la aplicación de gases de tipo ionizados que pueden generarse a bajas presiones y que pueden mantenerse energéticamente gracias al uso de la energía de radiofrecuencia y corrientes alternas y continuas (Domonkos *et al.*, 2021). En las últimas décadas, el método del plasma frío ha sido un foco de interés creciente entre los investigadores como tecnología de tipo no térmico para conseguir una inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos (Pankaj *et al.*, 2018). Presenta varias ventajas sobre los métodos de control microbiológico más tradicionales, como su naturaleza no tóxica, la corta duración del tratamiento, sus bajos costes operativos y su rendimiento en cuanto a una amplia variedad de productos, tanto líquidos como sólidos (Patil *et al.*, 2016).

El tratamiento con plasma frío permite inactivar microorganismos patógenos en aquellos productos que estén mínimamente procesados sin alterar sus características nutricionales (Pignata *et al.*, 2017). Los diversos procesos por los que pasan los productos alimenticios buscan mejorar su sabor y textura haciéndolos más apetecibles para el consumidor pero sin perder sus propiedades y extendiendo su vida útil. El uso de este tipo de técnica es una estrategia eficaz, a la vez que respetuosa con el producto y con el consumidor dando resultados prometedores en cuanto a la seguridad microbiológica del producto (Schnabel *et al.*, 2025).

1.5.1.2 Ultrasonido de alta intensidad.

El ultrasonido de alta intensidad se formula como una de las técnicas más innovadoras y emergentes que encontramos actualmente en el ámbito de la conservación de los alimentos. Dicho método está basado en la producción de ondas ultrasónicas de baja frecuencia y alta potencia que generan el efecto conocido como cavitación acústica. Esto hace que se generen microburbujas que chocan

entre ellas y, a consecuencia, producen ondas de choque con capacidad para destruir estructuras celulares de bacterias (*Beitia et al., 2023*). Se ha demostrado que la técnica del ultrasonido de alta intensidad además de afectar a las paredes celulares bacterianas, también pueden provocar daños directos sobre el ADN y enzimas intracelulares produciendo la inactivación patogénica de forma eficaz. Este método de control demuestra ser eficaz para controlar superficies, maquinarias y material líquido en ambientes industriales, los cuales necesitan métodos eficientes de desinfección y control de microorganismos sin comprometer la integridad del material ni alterar las propiedades de los productos fabricados (*Lauteri et al., 2023*).

El ultrasonido de alta intensidad se puede potenciar mediante su combinación con otros métodos de control de tipo no térmico, como el tratamiento con compuestos y enzimas antimicrobianas. Esta combinación reduce los tiempos de exposición así como incrementar la eficacia de control patogénico (*Sango et al., 2014*). También se destaca el bajo impacto ambiental a nivel ecológico que presenta este tipo de mecanismo de control y el amplio potencial para esterilizar superficies, lo que lo sitúa como uno de los métodos de control pioneros en el ámbito de la industria alimentaria de productos líquidos. Representa una de las mejores alternativas para controlar el crecimiento y proliferación de microorganismos patógenos dejando atrás algunos de los métodos tradicionales y combinando eficacia microbiológica con eficacia ambiental (*Aadil et al., 2017*).

1.5.1.3 Campos eléctricos pulsados (PEF, Pulsed Electric Fields)

Se trata de otra de las tecnologías emergentes de los últimos años en el campo del control microbiológico en la industria alimentaria. Este método es basado en la aplicación de pulsos eléctricos de alta tensión, entre 10 y 80 kV/cm en períodos muy cortos de tiempo, lo que conlleva una electroporación irreversible en las membranas celulares bacterianas provocando su inactivación pero manteniendo las propiedades nutricionales y características como sabor y textura del alimento en cuestión (*Ghoshal, 2023*). Este método se realiza normalmente a temperatura ambiente, combinado con otros tratamientos de tipo térmico suaves o a bajas temperaturas de refrigeración (*Caballero-Figueroa et al., 2022*).

Su aplicación en alimentos de tipo sólido con la finalidad de reducir la carga bacteriana es, en la actualidad, prácticamente inexistente ya que el diseño presenta

dificultades para trabajar en ciertas condiciones. Las principales aplicaciones de los campos eléctricos pulsados en alimentos en estado sólido se dan en condiciones que presentan un voltaje muy bajo. Se han aplicado en vegetales enteros como un pre-tratamiento para la mejora de procesos de extracción o secado. (*C. Zhang et al., 2022*). Los alimentos líquidos o fluidos sí que son mejores conductores de la electricidad, lo cual hace más fácil la aplicación de campos eléctricos (*Sánchez-Moreno C., et al., 2018*). Su importancia se basa en la eficacia que presenta para la inhibición del crecimiento y proliferación bacteriana, que no depende de los parámetros de tratamiento sino también de las cualidades propias del microorganismo así como de las características fisicoquímicas. (*Niu et al., 2020*).

Este nuevo método de control puede ser usado en diversos campos como un pre-tratamiento para la deshidratación de compuestos además de utilizarlo para las nuevas tecnologías de conservación de alimentos. Se trata de una alternativa muy eficaz para control microbiológico en industrias siendo un proceso clave en el avance hacia industrias más respetuosas con el medio ambiente (*Aguiar-Macedo et al., 2023*).

1.5.1.4 Atmósferas modificadas y envasado activo

Las atmósferas modificadas y el envasado activo son una tecnología emergente que consiste en la alteración de la composición gaseosa del interior de un envase con la finalidad de ralentizar la respiración de vegetales, principalmente, así como inhibir el crecimiento de bacterias (*Escalona, 2017*). Esta técnica normalmente se lleva a cabo mediante la reducción del oxígeno presente en dicho envase y la elevación de los niveles de dióxido de carbono.

En otras situaciones, también se utiliza nitrógeno como otro de los componentes de dichas atmósferas modificadas (*Arcos et al., 2013*). El nitrógeno se aplica en ocasiones como sustituto del oxígeno para evitar problemas oxidativos en aquellos alimentos que presenten grasa, o también se utiliza como gas de relleno evitando el colapso del empaquetamiento cuando se somete a concentraciones altas de dióxido de carbono. El dióxido de carbono se usa por su acción bacteriostática sobre bacterias Gram negativas, en mayor medida. El Oxígeno se utiliza cuando se quieren evitar procesos de anaerobiosis y favorecer en ese caso la transpiración (*Waghmare & Annapure, 2013*). Dicha técnica de control microbiológico ha generado

resultados prometedores en los casos en los que se ha aplicado, produciendo grandes reducciones de microorganismos en productos para el consumidor.

Estos resultados se explican principalmente por dos motivos; en primer lugar, la concentración de oxígeno retarda el proceso de crecimiento de bacterias anaerobias y hongos; por otra parte, los elevados niveles del dióxido de carbono presentes en el envase actúan sobre membranas microbianas y sobre el pH intracelular produciendo un efecto bactericida (*Dong et al., 2016*). Este método no solo prolonga la vida del producto sino que se considera una de las estrategias novedosas menos invasivas para la industria alimentaria (*Liu et al., 2024*).

1.5.2 Métodos químicos innovadores

1.5.2.1 Biosensores para detección rápida de patógenos

Los biosensores son definidos por *WHO, (2016)* como “circuitos biológicos formados por una secuencia de genes que se expresan como respuesta a señales producidas en el exterior activándose cuando perciben el estímulo para el cual han sido diseñados” (*WHO, 2016*). Los principales materiales utilizados para llevar a cabo esta metodología son las parejas de enzima/sustrato, anticuerpo/antígeno, y ácidos nucleicos/secuencias complementarias (*Zhao et al., 2015*). Su aplicación se basa fundamentalmente en la industria alimentaria (*Mi et al., 2025*). Encontramos distintos tipos de biosensores, entre los que destacan los biosensores ópticos, que son los más frecuentemente utilizados y su desarrollo está basado en la generación de una señal fluorescente. Estos biosensores pueden ser combinados con otros métodos de control como nanopartículas o nanoenzimas produciendo resultados prometedores en cuanto a la detección y control de microorganismos como *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* en alimentos procesados (*Zhang et al., 2025*).

Cabe destacar que la mayor parte de estos biosensores han sido diseñados para su utilización en muestras de carácter líquido y destacando que el enfoque no destructivo se encuentra aún lejano para los alimentos en estado sólido. En los casos de aplicación de biosensores en el control microbiano en la industria alimentaria, se dan aspectos a tener en cuenta como la distribución de carácter desigual de la matriz alimentaria así como la ubicación específica de los microorganismos que hay en su interior, lo cual puede verse influenciado por la

porosidad y las propiedades fisicoquímicas de los alimentos como su pH o la capacidad de difusión de nutrientes (*Zhao et al., 2024*). Para lograr la fabricación de biosensores altamente precisos, aún es necesario avanzar en dos aspectos fundamentales: en primer lugar, generar un rediseño basado en la optimización de la capacidad de respuesta garantizando así la fiabilidad hacia el consumidor y entre distintos lotes de productos; en segundo lugar, implementar la automatización de los procesos de producción para hacer más viable su producción a escala industrial (*Mi et al., 2025*).

1.5.2.2 Conservantes naturales y bioconservación

La bioconservación se define como una técnica de control microbiológico que busca conseguir el aumento de la vida útil y de la seguridad de un producto alimenticio mediante el uso de microbiota natural o controlada así como bioconservantes, proporcionando mayor seguridad a los sectores alimentarios y, con ello, al consumidor (*Fuente Salcido & Barboza Corona, 2010*). Es una de las nuevas alternativas que se pueden aplicar para conseguir la seguridad microbiológica de los productos alimenticios mediante la disminución de la presencia de agentes patógenos asegurando, en la mayor medida posible, que no haya incrementos de enfermedades transmitidas por alimentos y contribuir así a una mejora de la salud humana (*Sionek et al., 2024*).

Cuando el consumidor compra o adquiere un alimento, es muy probable que este haya sufrido alguna contaminación de manera no intencional, como presencia de toxinas producidas por alguna bacteria o productos derivados del propio procesamiento del producto o la contaminación ambiental. Los conservantes naturales o bioconservadores se añaden con la finalidad de controlar el crecimiento de microorganismos (*Farid et al., 2023*). Uno de los tipos de bioconservantes destacados provienen de plantas y microorganismos, existiendo así diversos productos de origen vegetal con actividad antimicrobiana, como el ajo, mostaza, orégano, tomillo, pimienta, canela, limón o naranja, entre otros. Los tipos de bacterias mayormente tratados con este tipo de método son *Salmonella spp*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Clostridium botulinum* (*Fuente Salcido & Barboza Corona, 2010*). Además de existir estos conservantes de origen vegetal, también se utilizan

antimicrobianos producidos por bacterias, los cuales reciben el nombre de bacteriocinas.

Las bacteriocinas son definidas como proteínas que se traducen a nivel de los ribosomas por acción de bacterias que presentan actividad antimicrobiana sobre especies relacionadas, cuya actividad no resulta demasiado ofensiva ni letal para la célula productora (*Soltani et al., 2020*). Hay distintos tipos de bacteriocinas entre los cuales se encuentran las producidas por bacterias lácticas, como la Nisina inhibidora de *Listeria monocytogenes* o *Clostridium*; o las producidas por una bacteria insecticida, como *Bacillus thuringiensis* (*Farid et al., 2023*).

1.5.3 Métodos biotecnológicos avanzados

1.5.3.1 Bacterias para desinfección.

La desinfección se trata de uno de los métodos de control de microorganismos patógenos más novedoso que existen en la actualidad. Este se basa en las capacidades que presentan ciertos grupos de bacterias, como las bacterias lácticas o los bacteriófagos, para inhibir la proliferación bacteriana en los alimentos en el contexto de los ambientes industriales (*Castellano et al., 2017*). Las bacterias lácticas aplicadas han resultado eficaces en cuanto a la reducción de la carga microbiana en los alimentos sin alterar sus propiedades nutricionales y sin dejar residuos químicos (*Tarifa et al., 2023*). Se ha demostrado a raíz de diversos estudios que estos bacteriófagos actúan contra agentes patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella enterica* en productos como carne, pescado y vegetales frescos (*Braz et al., 2025*). Se utilizan bacterias del ácido láctico como *Lactobacillus plantarum* o *Pediococcus acidilactici* debido a su actividad antimicrobiana y a su capacidad para formar biofilms protectores que impiden la proliferación bacteriana (*Linares-Morales et al., 2018*).

Otros estudios han demostrado el efecto antagonista de las bacterias del ácido láctico contra bacterias como *Staphylococcus aureus* o *Salmonella*, destacando que su eficacia reside en la capacidad para competir por ganar nutrientes y espacio. Estas estrategias innovadoras mejoran la vida útil de los alimentos, haciendo que conserven sus características nutricionales. (*Tarifa et al., 2023*). Esta estrategia de control representa una vía prometedora para desinfección

en las industrias siendo favorable para minimizar riesgos en la salud de la población así como promover un control seguro a nivel industrial (*Castellano et al., 2017*).

1.5.3.2 Fagos (bacteriófagos) como biocontrol

La aplicación de bacteriófagos para biocontrol en las industrias es una herramienta de interés creciente actualmente. Los bacteriófagos, también conocidos como fagos, se pueden definir como virus cuyo hospedero específico son bacterias y que poseen capacidad de lisar dichas bacterias. Se trata de los microorganismos biológicos más abundantes de la Tierra. La aplicación de bacteriófagos como método de control microbiológico en el ámbito industrial es una alternativa eficaz para inhibir la presencia de microorganismos patógenos sin alterar las propiedades del producto (*Dhulipalla et al., 2025*).

Uno de los principales fagos evaluados para su aplicación en las industrias de tipo alimentario es el fago phT4A, el cual ha resultado capaz de controlar cepas de *Escherichia coli* en alimentos como leche y jamón. Este fago es capaz de inhibir a dicho patógeno en condiciones adversas de temperatura y pH, sin alterar las propiedades químicas y nutricionales del alimento (*Braz et al., 2024*). Otros estudios demuestran la aplicación de fagos como agentes de detección rápida de cepas de *Salmonella* en ambientes industriales, lo cual permite mejorar la capacidad de respuesta de las industrias en distintas fases de la cadena de producción (*Liu & Huang, 2024*).

Los estudios científicos muestran el gran potencial que puede presentar el uso de bacteriófagos como método de biocontrol en las industrias, siendo una solución eficiente en el control de microorganismos. Ha generado grandes resultados como método novedoso en cuanto a desinfección y seguridad del control microbiológico (*Liu & Huang, 2024*).

1.5.3.3 Enzimas antimicrobianas

La presencia de este tipo de método es cada vez mayor en los ambientes industriales siendo eficaces en procesos de defensa de organismos biológicos, haciendo frente a afecciones infecciosas producidas por bacterias y hongos. En su aplicación como método de control microbiológico se pueden distinguir dos tipos principales de enzimas con carácter antimicrobiano, sobre todo en el ámbito

alimentario, las cuales son las hidrolasas y las óxido reductasas (*Lucera et al., 2012*).

En lo que respecta a las hidrolasas, se trata de enzimas que presentan carácter antimicrobiano actuando por degradación de componentes de carácter estructural que se encuentran en la pared celular de los microorganismos (*Lucera et al., 2012*). En la industria de tipo alimentario, se ha demostrado que son eficaces como conservantes en productos cárnicos, pescados, mariscos, frutas y verduras frescas (*Aziz & Karboune, 2016*). Sin embargo, destaca su papel en la industria láctea, donde es utilizada en elaboración de quesos para evitar la presencia de *Clostridium tyrobutyricum*.

En lo que respecta a las óxido reductasas, se ha demostrado que son efectivas tanto frente a bacterias Gram positivas como negativas, sobre todo en el caso de la industria avícola, concretamente en el huevo líquido. Además las óxidos reductasas tienen capacidad difusora a través de la membrana celular del microorganismo diana, así como capacidad de provocar daños de carácter intracelular, aumentando de esta forma su actividad antimicrobiana (*Gonçalves et al., 2020*).

2. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar las estrategias de control de microorganismos patógenos más novedosas en ambientes industriales de tipo alimentario con el fin de mejorar la bioseguridad y reducir el riesgo de contaminación microbiológica.

Objetivos específicos:

- Analizar las innovaciones tecnológicas más actuales en el control de bacterias patógenas a nivel industrial.
- Conocer los fundamentos de las innovaciones tecnológicas para el control microbiano.
- Estudiar la efectividad de los resultados obtenidos al aplicar nuevas tecnologías de control en cuanto a la presencia de microorganismos patógenos
- Comparar las estrategias innovadoras con los métodos de control tradicionales en el campo de la seguridad alimentaria.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo, se ha llevado a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica acerca de las nuevas estrategias de control bacteriano aplicadas en la industria alimentaria centrándose en su desarrollo y comparación con las estrategias de control más tradicionales. Para ello se han utilizado distintos recursos como páginas webs, así como documentos y /o monografías pertenecientes a entidades oficiales especializadas en Microbiología, Nutrición y control de los alimentos y Medicina. Los artículos científicos se han obtenido de diversas bases de datos intentando siempre seleccionar aquellos que resultan más recientes.

A. Bases de datos empleadas, Estrategia de búsqueda y criterios de selección

Las fuentes de información secundarias han sido las proporcionadas por las siguientes Bases de datos Generales: MedlinePlus o PubMed_(Medical Literature Analysis and Retrieval System on LINE); Scielo: (<http://scielo.isciii.es>); ScienceDirect.

A.1. Medlineplus o pubmed: (Medical Literature Analisis and RetrievalSystemon LINE) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>). Es una base de datos bibliográfica que presenta acceso libre. Está especializada en áreas relacionadas con las ciencias de la salud. Esta base contiene más de 15 millones de referencias bibliográficas de artículos de revistas desde el año 1960. PubMed es una plataforma que permite realizar búsquedas de forma gratuita en MEDLINE y otros recursos. Fue desarrollado por el National Center for Biotechnology Information en la NLM. Ofrecer posibilidad de utilizar funciones específicas para buscar información sobre un campo en concreto. Su acceso a consulta es de forma gratuita mediante el enlace <http://pubmed.gov> (Williamson & Minter, 2019). Este sitio web ha sido la principal fuente de información para la elaboración de este trabajo.

A.2 Scielo: (<http://scielo.isciii.es>). Es una biblioteca pública virtual en la que se pueden encontrar revistas científicas española que estén relacionadas con las ciencias de la salud. Su desarrollo está a cargo de la Biblioteca Nacional de Ciencias de la Salud (Laerte et al., 2001).

A.3. ScienceDirect: (<http://www.elsevier.com/online-tools/sciencedirectes>). Su fundamento es una base de datos en la que se pueden buscar y descargar revistas y libros editados por Elsevier o por otras editoriales como AcademicPress.

Con el objetivo de tener una visión general, se aplicaron los siguientes términos MeSH/palabras clave, junto con el operador booleano AND.

La estrategia de búsqueda fijada para este punto se muestra a continuación:

Por ejemplo:

(bacterial control) AND (food industry)

(microorganisms) AND (food contamination)

(pathogenic control) AND (new methods)

((pathogenic control) AND (new methods)) AND (food industry)).

A continuación, para encontrar aspectos concretos del TFG como información relevante sobre los nuevos métodos usados en el ámbito de la industria alimentaria, métodos físicos, métodos químicos o biotecnológicos, se realizó una segunda búsqueda. Para ello, fueron utilizados los siguientes términos Mesh/Palabras clave, junto con el operador booleano AND:

La estrategia de búsqueda se muestra a continuación:

Por ejemplo: (traditional method) AND (fermentation)

(bacterial control) AND (physical methods)

(bacterial control) AND (biotechnological methods)

(bacterial control) AND (food industry) AND (biotechnological methods)

(bacterial control) AND (food industry) AND (physical methods)

En la mayor parte de los casos, los artículos seleccionados fueron los más recientes posibles, dentro de la información que hay actualmente de cada uno, de relevancia en el ámbito científico y con título y resumen acorde con la información que se buscaba.

Los criterios de inclusión elegidos fueron; tener acceso al texto completo, escritura del artículo en español o inglés y que tratase sobre la temática del presente trabajo. Por otro lado, los criterios de exclusión fueron artículos que no trataran la temática del estudio, estuvieran fuera de un límite temporal (si existiesen muchos artículos que tratan el mismo tema) y artículos repetidos.

Se realizó un cribado de los resultados de búsqueda para determinar si las referencias cumplían los criterios de inclusión. Los estudios potencialmente relevantes se seleccionaron mediante una revisión de texto completo. Se verificaron referencias cruzadas para referencias adicionales.

Después de reunir los artículos finalmente seleccionados, se llevó a cabo una lectura y estudio de cada uno, resaltando los datos más importantes. Por último, se organizó el índice para clasificar los datos y la información obtenida de la manera más clara posible

B. Direcciones de internet

Con objeto de completar algunos aspectos reflejados en el índice del TFG he consultado diferentes páginas web en el campo del control Microbiológico de bacterias y/o Seguridad industrial para buscar información actual sobre el tema.

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN)

World Health Organization (WHO)

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC)

European Food Safety Authority (EFSA)

Food and Drug Administration (FDA)

C. Cronograma de la realización del TFG (terminar/modificar)

El presente trabajo es una revisión bibliográfica que se ha desarrollado entre los meses de enero y junio de 2025. En un primer momento, y tras la entrevista con el tutor, se establecieron las pautas generales del trabajo y los criterios de búsqueda de bibliografía. En una segunda reunión se evaluaron los artículos científicos preseleccionados y se inició la selección aplicando los criterios de inclusión detallados anteriormente. Esta primera fase, junto con la elección de los artículos y/o estudios y datos más importantes, ha ocupado el mayor tiempo y espacio del trabajo

final. Después se ha realizado una recopilación, análisis y redacción de la información seleccionada y, finalmente, la elaboración de las conclusiones.

4. RESULTADOS

En este apartado, se exponen los resultados obtenidos derivados del estudio y análisis de los diversos artículos científicos seleccionados con el objetivo de analizar los riesgos a nivel microbiológico que presentan los alimentos. Para estructurar adecuadamente la información y facilitar su interpretación, he decidido organizar los datos obtenidos en función de la gama a la que pertenezca cada tipo de alimentos de los tratados en el presente trabajo, ya que considero que esta clasificación permite una visión más clara y comparativa de los factores que influyen en la presencia de bacterias patógenas, como las condiciones de procesado, conservación y manipulación.

Si bien existen otras formas posibles de organizar los resultados, como por tipo de industria a la que pertenecen o por estrategia de control pero, en este caso, el agruparlos por gamas de alimentos proporciona un enfoque más práctico y visual para el análisis de resultados e identificación de riesgos específicos, sirviendo como base para la propuesta de estrategias de control eficaces y adaptadas a la categoría de cada producto.

En la industria alimentaria, como se ha mencionado anteriormente, los alimentos se pueden clasificar por gamas en función de su grado de transformación, tratamiento y tipo de conservación. Por ello, esta clasificación va a resultar útil para llevar a cabo la evaluación de los riesgos microbiológicos y establecer estrategias de control bacteriano. A continuación se va a introducir y describir las cinco gamas de alimentos que se consideran a día de hoy, con el objetivo de facilitar posteriormente el análisis de resultados.

En la primera gama vamos a encontrar los alimentos frescos, los cuales no han sido sometidos a tratamientos tecnológicos ni térmicos más allá de la recolección y limpieza, incluyendo en algunos casos el envasado. Por tanto, dentro de este grupo encontramos productos como frutas, verduras, carnes y pescados frescos, mariscos y huevos. Se trata de un grupo de alimentos altamente perecederos.

En la segunda gama encontramos alimentos que han sido envasados herméticamente en recipientes resistentes al calor, generalmente vidrio o metal. Se trata de alimentos que han sido sometidos a tratamientos térmicos de conservación. Dentro de este grupo encontramos las conservas de alimentos, las cuales pueden ser conservas vegetales como, por ejemplo, espárragos o tomate triturado; encontramos también conservas de legumbres cocidas o pescados como el atún o las sardinas, entre otros. Se trata de un grupo de alimentos que tienen una larga duración de fecha de caducidad.

La tercera gama la ocupan alimentos que han sido sometidos a procesos de congelación o ultracongelación para su conservación. Entre los alimentos más típicos de esta gama se encuentran las frutas y verduras congeladas, carnes y pescados congelados y alimentos precocinados también congelados. Se trata de la gama de alimentos sobre los que menos se va a tratar en este anexo, ya que prácticamente no incluyen estrategias de control novedosas debido a que procesos tradicionales de control se siguen empleando. Los procesos de congelación a los que están sometidos impiden el crecimiento de los microorganismos, siempre que se haya llevado a cabo de forma correcta.

Los productos característicos de la cuarta gama son los alimentos procesados. Se trata de productos frescos pero mínimamente procesados los cuales se caracterizan por haber sido preparados y envasados de forma que quedan listos para consumir directamente o cocinar. En este grupo podemos encontrar ensaladas y frutas envasadas, verduras preparadas directamente para cocinar o similares. Se trata de alimentos con una vida útil relativamente corta y que deben mantenerse en refrigeración en todo momento. Es un grupo que presenta altos riesgos microbiológicos si se produce algún tipo de contaminación cruzada o algún fallo en las condiciones de conservación e higiene.

Por último, en la quinta gama se incluyen los alimentos que han sido cocinados y posteriormente envasados al vacío o en atmósferas modificadas con el objetivo de prolongar su vida útil sin necesidad de congelación. En este grupo se incluyen platos ya preparados como arroces, pastas, carnes o sopas, entre otros. Son productos que han sido sometidos a tratamientos térmicos y que están listos para calentar y consumir, los cuales pueden presentar riesgos microbiológicos si no se siguen unas pautas de conservación. Esta información ha sido obtenida de la AESAN (*Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición*).

Para ordenar la información respecto a las distintas gamas de alimentos y facilitar su interpretación de forma más visual, se ha procedido a la realización de un esquema reflejado en forma de cuadro comparativo donde se exponen los tipos de gamas, el tratamiento empleado en cada una de ellas, así como los productos que se encuentran incluidos en cada grupo.

GAMA	TIPO DE TRATAMIENTO	TIPO DE ALIMENTOS
Primera gama (I)	Sin tratamiento o tratamiento físico leve (limpieza o corte básico)	Vegetales frescos, carne y pescado frescos, huevos y leche cruda
Segunda gama (II)	Tratamientos térmicos de conservación (envasado hermético, esterilización, pasteurización)	Alimentos en conserva: vegetales, legumbres, pescado o mermeladas, entre otros.
Tercera gama (III)	Tratamiento de congelación o ultracongelación	Alimentos congelados: pescados, carnes o platos precocinados
Cuarta gama (IV)	Tratamientos físicos (lavado o troceado, atmósferas modificadas). Sin tratamiento térmico.	Ensaladas listas para consumo, frutas troceadas y envasadas, verduras envasadas
Quinta gama (V)	Tratamientos físicos (lavado, corte, atmósferas modificadas) combinados con tratamientos térmicos (pasteurización, esterilización). Presentan cocción y envasado.	Platos preparados listos para su consumo, carnes ya cocinadas, alimentos preparados refrigerados, tortillas...

Figura 1: Esquema propio.

A continuación, se desglosan algunos de los artículos citados en apartados anteriores para desarrollar con mayor profundidad cómo se aplican algunos de los nuevos métodos de control microbiológico en función de las distintas gamas de alimentos explicadas anteriormente.

En relación a los alimentos de primera gama, se ha referido un artículo científico titulado *A review on microbiological decontamination of fresh produce with non thermal plasma* publicado por *Pignata et al., (2017)* el cual trata sobre el estudio realizado acerca de la aplicación de la técnica del plasma frío como tratamiento de control de tipo físico en vegetales frescos. Se ha seleccionado este artículo debido a que trata sobre uno de los métodos más empleados hoy en día, el plasma frío, considerándose importante para el estudio de resultados obtenidos por métodos de control aplicados en los productos pertenecientes a dicho grupo. El objetivo de este estudio es reducir la carga microbiana y prolongar la vida útil de los vegetales frescos, considerados productos pertenecientes a la primera gama de alimentos. El uso de plasma no térmico o plasma frío permite producir especies reactivas que atacan estructuras celulares microbianas sin afectar negativamente al producto. Los resultados mostraron reducciones significativas de agentes patógenos así como mejoras claves en las tasas de respiración de los alimentos. Los investigadores consiguieron impedir el crecimiento de especies patógenas como *Escherichia Coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria Monocytogenes*, así como hongos y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*. En conclusión, el artículo muestra un equilibrio clave entre la aplicación del plasma frío y la reducción de microorganismos.

En lo que respecta a los alimentos de segunda gama, se han revisado varias publicaciones científicas que analizan nuevos métodos de control microbiológico. Una publicación referida es la de *Álvarez-Ordoñez et al., (2022)* cuyo título es *The role of microorganisms and their antibacterial compounds in food biopreservation*, un artículo que habla sobre aplicación de bioconservadores en productos que están incluidos en esta gama de alimentos. En este contexto, la publicación destaca la eficacia que presentan ciertas bacteriocinas, como nisina o pediocina, para bioconservación frente a la inhibición de bacterias patógenas. Se ha seleccionado este estudio debido a que relaciona la aplicación de un método novedoso como es el uso de bacteriocinas para bioconservación, con la obtención de eficaces resultados en cuanto al control de patógenos en las conservas de alimentos. Hace referencia a la alta probabilidad existente de que los alimentos sufran contaminación por toxinas

o contaminación ambiental durante su propio procesamiento, por lo que resulta de gran eficacia el uso de bioconservadores. La publicación se basa en el contexto de la realización de conservas de vegetales procesados y productos cárnicos por lo que se puede incluir dentro de la discusión de alimentos de segunda gama. El estudio presenta resultados en cuanto a la inhibición de la proliferación microbiana, logrando controlar cepas de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*. Se destaca la eficacia de compuestos vegetales con propiedades antimicrobianas, bacteriocinas y ácidos orgánicos que actúan sobre las membranas de bacterias y contribuyen a reducir la carga y la patogenicidad sin necesidad de aplicar otros tratamientos más invasivos. En conclusión, la aplicación de estos bioconservadores genera un ambiente clave para controlar el crecimiento microbiano.

Cabe señalar que en dicho trabajo no se ha profundizado en cuánto a técnicas de control bacteriano aplicadas sobre los alimentos de tercera gama debido a que este grupo, al estar sometidos a procesos de congelación o ultracongelación prácticamente no presentan riesgos microbiológicos o los presentan en cantidades insignificantes en comparación con el resto de gamas de alimentos. Los procesos de congelación no eliminan los microorganismos presentes pero sí que detienen cualquier tipo de crecimiento o actividad funcional, lo cual reduce en gran medida la posibilidad de proliferación microbiana durante su almacenamiento y distribución, siempre y cuando el resto de procesos a los que son sometidos estos alimentos se lleven a cabo de forma correcta y controlada y se mantenga adecuadamente la cadena de frío. Por todos estos motivos, las estrategias de control microbiológico referentes a esta gama de productos están basadas fundamentalmente en una aplicación correcta de prácticas de higiene, además de un correcto control de las temperaturas. Estos aspectos no resultan especialmente relevantes en el contexto del presente trabajo, enfocado en aquellas gamas de alimentos que presentan mayor susceptibilidad a la proliferación de bacterias patógenas.

En relación a los alimentos de la cuarta gama, se ha seleccionado un artículo publicado por *Arcos et al.*, (2013) titulado *Determinación de la vida útil de un producto de cuarta gama: ensalada de vegetales en atmósfera modificada*, así como otro artículo publicado por *Escalona* (2017) titulado *Uso de envasado en atmósfera modificada en los productos de IV y V gama* los cuales tratan sobre la aplicación de

atmósferas modificadas para la conservación de alimentos incluidos en dicha gama, con el objetivo de prolongar la vida útil de los productos frescos mínimamente procesados, especialmente frutas y hortalizas directamente listas para consumo. La selección de estos artículos se debe a su relevancia directa con uno de los métodos de control microbiológico que más se emplean hoy en día por las industrias y sobre el cual el consumidor puede tener conocimiento debido a su frecuente visibilidad en numerosos productos comercializados. Estos artículos explican de forma detallada el funcionamiento de dicha estrategia de control, la cual se basa en una mezcla controlada de gases con la finalidad de evitar y/o ralentizar el crecimiento bacteriano y la actividad microbiológica sin necesidad de añadir conservantes químicos. En esta mezcla de gases se disminuye la concentración de oxígeno y se aumenta la de nitrógeno y dióxido de carbono. El nitrógeno puede actuar evitando problemas oxidativos en los productos, el dióxido de carbono presenta puede actuar inhibiendo el crecimiento de bacterias gram negativas; y el oxígeno favorece la respiración del producto, además de evitar anaerobiosis. También dicha metodología de control funciona debido a la permeabilidad que presenta el envasado así como al control de las temperaturas y de la cadena de frío. En cuanto a los materiales de envasado para generar este tipo de atmósferas, se escogen films que presenten permeabilidad intermedia a los gases, lo cual conlleva a una eficaz barrera frente a los mismos y frente al vapor de agua. Con la utilización de este tipo de films se consigue obtener atmósferas modificadas con las condiciones y características deseadas. Sin embargo, cabe destacar que se debe definir la temperatura de envasado y almacenamiento de cada tipo de producto debido a las diferencias de intensidades respiratorias entre hortalizas y al efecto de la temperatura sobre la respiración y permeabilidad.

En lo que respecta a los alimentos de la quinta gama, se han revisado varias publicaciones científicas que analizan nuevos métodos de control microbiológico. Se ha consultado un artículo científico titulado *Aplicaciones alimentarias de compuestos antimicrobianos naturales*, publicado por *Nobile et al., (2012)*. Dicho artículo se ha seleccionado debido a la relevancia que presentan los contenidos reflejados en él abordando la aplicación de distintas enzimas y dando una visión más general así como gran cantidad y variedad de resultados en función de cada tipo de enzimas tratadas en él. Este tipo de enzimas antimicrobianas, han sido citadas anteriormente como uno de los nuevos métodos de control de tipo biotecnológico. Su información

está basada en estudios de casos sobre aplicaciones de enzimas activas para prevenir la proliferación microbiana en alimentos envasados y preparados para consumo directo, los cuales pertenecen a la quinta gama. Habla sobre la adición directa de enzimas a la formulación del alimento, a su superficie o, incluso, incorporadas a su material de envasado, generando resultados prometedores al producir una reducción inmediata de poblaciones bacterianas y películas antimicrobianas. También habla sobre la adición específica de bacterias del ácido láctico productoras de bacteriocinas a aquellos productos que contengan derivados de la leche, ya que estas muestran una fuerte actividad antimicrobiana contra bacterias relacionadas. Resultan eficaces contra esporas bacterianas resistentes al calor de *Clostridium botulinum* y también contra patógenos como *L. monocytogenes*, *S. aureus* o *B. cereus*. Dicho artículo habla también sobre las propiedades de una enzima aplicada a los productos alimenticios, la lisozima, la cual ha dado resultados prometedores contra bacterias gram positivas. Sin embargo ha sido ineficaz contra bacterias gram negativas debido a la presencia de un lipopolisacárido en la membrana externa. Esta enzima evita el crecimiento microbiano contra *Clostridium tyrobutyricum* y *Pseudomonadaceae*. En conclusión, el artículo informa sobre las nuevas estrategias de aplicación de enzimas y compuestos antimicrobianos en alimentos de la quinta gama resultando eficiente para el control de microorganismos patógenos. Abre nuevas puertas para el diseño de estrategias de conservación más naturales y respetuosas con el producto para su consumo directo.

5. DISCUSIÓN

Este estudio se centró en la caracterización e investigación acerca de los métodos de control de microorganismos patógenos más novedosos en los ambientes industriales del sector alimenticio. Se buscó relacionar la aplicación de dichas técnicas con el control e inhibición de la proliferación microbiana en los ambientes industriales que se ven afectados con mayor frecuencia, como es el sector alimentario. Para una mejor comprensión y análisis de los resultados obtenidos, se ha realizado una revisión comparativa de algunos estudios científicos basados en la aplicación de técnicas similares.

Uno de los métodos más utilizados en cuanto a los alimentos frescos es la técnica del plasma frío. Se ha realizado una comparativa entre dos estudios publicados en años diferentes: por una parte, el estudio experimental de *Bagheri et*

al., (2021) titulado Simultaneous effect of cold plasma and MAP on the quality properties of mixed nuts snack during storage y por otra parte, una revisión teórica de Pignata et al., (2017) titulada A review on microbiological decontamination of fresh produce with non thermal plasma. Ambos estudios investigan el uso del plasma frío desde distintos enfoques, combinado en el caso del estudio experimental de Bagheri et al., (2021) con la técnica de envasado en atmósfera modificada. El estudio experimental de Bagheri et al., (2021) estudia la aplicación del plasma frío de forma indirecta, combinándolo con el envasado en atmósfera protectora en una mezcla de frutos secos durante su almacenamiento. Los resultados muestran una reducción significativa de los microorganismos patógenos sin alterar las propiedades nutricionales de los productos. Por otro lado, la revisión de Pignata et al., (2017) muestra una aplicación del plasma frío de forma directa sobre los alimentos, obteniendo algunos resultados favorables en cuanto a la reducción de colonias bacterianas. La diferencia clave en cuanto a ambos estudios es la aplicación del tratamiento, ya que en el caso de la aplicación de forma indirecta no se observan alteraciones en las características de los alimentos, incluso la aplicación simultánea de ambos métodos condujo a obtener un mayor tiempo de vida útil del producto; mientras que en el caso de la aplicación de forma directa se advierte sobre posibles alteraciones y efectos secundarios como son la oxidación de lípidos, cambios en el color o textura y degradación nutricional en algunos casos. En conjunto, ambos estudios coinciden en que la aplicación del método del plasma frío presenta resultados positivos en cuanto al control microbiológico en productos frescos, pero difieren en que, en el caso de la aplicación directa, aún se requieren mejoras en algunas técnicas para conseguir la optimización de todos los parámetros y características nutricionales.

Se han encontrado también más estudios relacionados con otro de los métodos novedosos más utilizados actualmente, como es el envasado en atmósfera modificada. Dos estudios científicos encontrados que tratan sobre este tipo de estrategia de control microbiológico son el publicado por Arcos et al., (2013) titulado Determinación de la vida útil de un producto de cuarta gama: ensalada de vegetales envasada en atmósfera modificada y el publicado por Escalona (2017) titulado Uso de envasado en atmósfera modificada en los productos de IV y V gama. Ambos estudios hablan sobre la aplicación del método de envasado en atmósfera modificada en los productos correspondientes a las gamas citadas. El objetivo de

ambos estudios es reducir la proliferación y crecimiento microbianos, alargando así la vida útil de los productos. Las similitudes entre ambos estudios se basan en la coincidencia de que este tipo de estrategia es una herramienta eficaz para disminuir la degradación celular en vegetales procesados así como controlar la presencia de microorganismos. Ambos se basan en que una correcta composición de gases en el proceso de envasado combinado con un mantenimiento del control de las temperaturas de envasado y almacenamiento son aspectos claves para lograr dicho objetivo. En cuanto a las diferencias que presentan dichos trabajos, el de *Arcos et al., (2013)* se trata de una investigación experimental, el cual se centra solo en los vegetales presentes en una ensalada envasada, mientras que el de *Escalona (2017)* se trata de una revisión más extensa, abordando desde una perspectiva teórica más tipos de productos presentes en estas gamas de alimentos proporcionando una visión más amplia. La diferencia más significativa entre los citados estudios radica en que *Arcos et al., (2013)* habla sobre la importancia de determinar correctamente la mezcla específica de gases utilizados en este tipo de envasado, mientras que *Escalona (2017)* enfatiza en la importancia de adaptar las propiedades de los materiales del envase, como su permeabilidad al agua y a los gases. Ambos estudios pueden resultar complementarios debido a que la investigación experimental de *Arcos et al., (2013)* aporta datos prácticos sobre la vida útil del producto, mientras que la revisión extendida de *Escalona (2017)* genera un marco más metodológico detallando parámetros que resultan críticos para la conservación y control microbiológico. En conjunto, ambos artículos proporcionan perspectivas complementarias sobre la aplicación de la técnica de envasado en atmósferas modificadas. Esto refuerza una mejor comprensión acerca de su aplicabilidad en el ámbito industrial.

Cabe resaltar otros dos estudios que analizan la aplicación de uno de los métodos más novedosos actualmente, el uso de bacteriófagos como método de biocontrol en las industrias alimentarias. Los estudios tratados son el publicado por *Braz et al., (2024)* titulado *Potential of bacteriophage phT4A as a biocontrol agent against Escherichia coli in food matrices* y el publicado por *Torkashvand et al., (2024)* titulado *Evaluating the effectiveness and safety of a novel phage cocktail as a biocontrol os Salmonella in biofilm, food products, and broiler chicken.* Se han seleccionado dichos artículos debido a que esta estrategia de control es una de las que menor tiempo llevan aplicándose a nivel industrial, por lo que resulta interesante

conocer qué efecto conlleva en cuanto a control de microorganismos patógenos. Ambos estudios analizan la aplicación de fagos como una herramienta de biocontrol frente a microorganismos patógenos en los ambientes industriales de tipo alimentario. Las opiniones y resultados comunes a ambos estudios se basan en la consideración de este método como una de las alternativas más sostenibles en comparación con las estrategias tradicionales de control. Ambos estudios aplican unas condiciones que se encuentran de forma común en las industrias alimentarias, lo cual refuerza los resultados y la aplicabilidad práctica. Destacan que no se producen grandes alteraciones negativas en cuanto a las propiedades nutricionales de los productos, además de una seguridad en cuanto a los bacteriófagos empleados en relación con los consumidores. Lo más destacable entre estos dos estudios son las diferencias que presentan en cuanto a resultados obtenidos. En el estudio de *Torkashvand et al., (2024)* se evaluó un cocktail específico de fagos que fue creado para controlar cepas de *Salmonella spp.* en biofilms de productos cárnicos. Se comprobó que funcionó correctamente durante las primeras horas de observación, sin embargo posteriormente se observó un rebrote potencial de *Salmonella spp.* asociado a la aparición de resistencia. En cambio, en el estudio de *Braz et al., (2024)* se aplicó el fago phT4A para controlar cepas de *Escherichia coli* en diferentes alimentos mínimamente procesados, combinado con estrategias de control suaves como presiones y atmósferas moderadas, cuya finalidad principal fue inhibir rebrotes de *E. coli* tras este tratamiento. Se obtuvieron resultados positivos ya que se logró reducir de forma significativa el rebrote bacteriano en los alimentos tratados. Dichas diferencias entre ambos estudios no conllevan una conclusión única en cuanto a la aplicabilidad funcional de este tipo de método; por un lado se evidencia rebrotes y resistencia potencial a un tratamiento de cocktail de fagos, mientras que por otro lado se evidencian reducciones significativas mediante la combinación de este tratamiento con otro tipo de tratamientos suaves, lo que podría llevar a pensar que aún faltan algunos avances para conseguir una optimización de esta estrategia y validar plenamente su eficacia.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

En este anexo se recogen las principales conclusiones extraídas del estudio y análisis de las nuevas tecnologías más comunes aplicadas actualmente para el

control de microorganismos patógenos en el ámbito industrial. Como se ha comentado anteriormente, se ha decidido orientar el presente trabajo al ámbito de la industria alimentaria para facilitar así el desarrollo del mismo y poder obtener conclusiones más claras y concisas. Se trata de la industria que más repercusión tiene en cuanto a brotes transmitidos a la población por microorganismos patógenos, además de ser la industria sobre la que más información relevante se puede encontrar.

A partir de los resultados obtenidos, así como los estudios revisados, se pueden extraer conclusiones en cuanto a su eficacia y aplicabilidad práctica. Asimismo se plantean posibles tendencias futuras que pueden contribuir a la mejora y optimización de los métodos tratados para garantizar mayor seguridad alimentaria. A lo largo de la realización de este trabajo, se ha expresado la importante necesidad creciente de profundizar en la investigación y desarrollo de nuevos métodos de control bacteriano en el sector de la industria alimentaria. El gran problema emergente es la aparición y expansión de cepas bacterianas que presentan resistencia a los tratamientos tradicionales, representando un desafío crucial para la seguridad alimentaria y la seguridad del consumidor.

En cuanto a mi impresión sobre la situación actual, resulta evidente la necesidad de realizar estudios e investigaciones que permitan implementar y mejorar algunas de las nuevas tecnologías de control de microorganismos para poder aplicarlas de forma más frecuente y así conseguir optimizar los resultados relacionados con el control de cepas bacterianas en las industrias alimentarias. Tras el análisis de resultados obtenidos en los distintos trabajos estudiados, resulta evidente que las técnicas que aún son más emergentes y menor aplicadas son las de tipo biotecnológico debido a rebotes observados en la aplicación de algunos de sus métodos, como los bacteriófagos aplicados para el biocontrol; lo que se puede concluir como la necesidad de una mayor investigación en este tipo de estrategias, ya que podrían ser claves para controlar muchas de las cepas que actualmente son más resistentes. Finalmente, se puede decir que las tendencias actuales más aplicadas son los métodos de tipo químico, entre los que se ha hablado de conservantes y biosensores, así como los métodos de tipo físico destacando el plasma frío, las atmósferas modificadas, el ultrasonido de alta intensidad y los

campos eléctricos pulsados. Las tecnologías más novedosas y que en el futuro tendrán mayor aplicabilidad y una mejora de resultados son las de tipo biotecnológico, destacando algunas como las enzimas antimicrobianas o los fagos y bacterias para biocontrol y desinfección de ambientes industriales.

A continuación se exponen las conclusiones obtenidas de forma más esquemática, con el objetivo de facilitar su comprensión y ofrecer una visión más clara de las valoraciones finales:

-El gran desafío al que se enfrentan las nuevas técnicas de control es la progresiva resistencia bacteriana.

-Se debe profundizar en la investigación y desarrollo de nuevas estrategias de control a nivel industrial en el ámbito de la alimentación.

-Resulta clave la necesidad de mejorar algunas técnicas de las nuevas estrategias para optimizar los resultados obtenidos.

-Las técnicas aplicadas con mayor frecuencia en la actualidad son las de tipo químico y físico.

-Se muestran tendencias futuras sobre la implementación de las técnicas de tipo biotecnológico, siendo claves para tratar posibles resistencias bacterianas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aadil, R. M., Zeng, X., Han, Z., Sahar, A., Khalil, A. A., Rahman, U. U., Khan, M., & Mehmood, T. (2017). Combined effects of pulsed electric field and ultrasound on bioactive compounds and microbial quality of grapefruit juice. *Journal Of Food Processing And Preservation*, 42(2), e13507. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13507>

Aguiar-Macedo, M., Pereira, M. T., Redondo, L. M., & Silva, C. (2023). Controlling *B. bruxellensis* with Pulsed Electric Fields: Optimization of industrial protocols and impact on the wine profile. *BIO Web Of Conferences*, 68, 02041. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236802041>

- Alp, D., & Bulantekin, Ö. (2021). The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. *European Food Research And Technology*, 247(6), 1333-1343. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03731-z>
- Arcos, E., Castrillón, A., María, C. V. A., & René, R. G. (2013, 18 junio). *Determinación de la vida útil un producto de cuarta grama: ensalada de vegetales envasada en atmósfera modificada*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24613>
- Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Da Silva, R. C., & Ibrahim, S. A. (2020). Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, 1(3), 202-232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
- Aziz, M., & Karboune, S. (2016). Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 1-26. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1194256>
- Bagheri, H., Abbaszadeh, S., & Sepandi, M. (2021). Simultaneous effect of cold plasma and MAP on the quality properties of mixed nuts snack during storage. *Journal Of Food Processing And Preservation*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15381>
- Beitia, E., Gkogka, E., Chanos, P., Hertel, C., Heinz, V., Valdramidis, V., & Aganovic, K. (2023). Microbial decontamination assisted by ultrasound-based processing technologies in food and model systems: A review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 22(4), 2802-2849. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13163>
- Bénézech, T., & Faille, C. (2020). Role of equipment design in biofilm prevention. En *Elsevier eBooks* (pp. 233-248). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819497-3.00010-6>

- Bhattacharya, D., Nanda, P. K., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Dhar, P., & Das, A. K. (2022). Lactic Acid Bacteria and Bacteriocins: Novel Biotechnological Approach for Biopreservation of Meat and Meat Products. *Microorganisms*, *10*(10), 2058. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102058>
- Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2016). Performance of Drying Technologies to Ensure Microbial Safety of Dried Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, *15*(6), 1056-1066. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12224>
- Braz, M., Pereira, C., Freire, C. S., & Almeida, A. (2024). Potential of bacteriophage phT4A as a biocontrol agent against *Escherichia coli* in food matrices. *International Journal Of Food Microbiology*, *424*, 110847. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110847>
- Braz, M., Pereira, C., Freire, C. S. R., & Almeida, A. (2025). A Review on Recent Trends in Bacteriophages for Post-Harvest Food Decontamination. *Microorganisms*, *13*(3), 515. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13030515>
- Caballero-Figueroa, E., Terrés, E., Hernández-Hernández, H. M., & Escamilla-García, M. (2022). Revisión sobre las tecnologías emergentes no térmicas para el procesamiento de alimentos. *Deleted Journal*, *25*. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.459>
- Cai, W., & Arias, C. R. (2017). Biofilm Formation on Aquaculture Substrates by Selected Bacterial Fish Pathogens. *Journal Of Aquatic Animal Health*, *29*(2), 95-104. <https://doi.org/10.1080/08997659.2017.1290711>
- Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Saraiva, A., & Raposo, A. (2021). Microbial Biofilms in the Food Industry—A Comprehensive Review. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, *18*(4), 2014. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042014>
- Castellano, P., Ibarreche, M. P., Massani, M. B., Fontana, C., & Vignolo, G. M. (2017). Strategies for Pathogen Biocontrol Using Lactic Acid Bacteria and

- Their Metabolites: A Focus on Meat Ecosystems and Industrial Environments. *Microorganisms*, 5(3), 38. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030038>
- Chitrakar, B., Zhang, M., & Adhikari, B. (2018). Dehydrated foods: Are they microbiologically safe? *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 59(17), 2734-2745. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1466265>
- Da Silva Ferreira, V. C., Martins, T. D. D., De Souza Batista, E., Santos, E. P. D., Da Silva, F. A. P., Da Silva Araújo, Í. B., & Nascimento, M. C. o. D. (2013). Physicochemical and microbiological parameters of dried salted pork meat with different sodium chloride levels. *Food Science And Technology*, 33(2), 382-386. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612013005000055>
- Desmousseaux, C., Guilbaud, M., Jard, G., Tormo, H., Oulahal, N., Hanin, A., Bourdonnais, E., Jha, P. K., & Laithier, C. (2025). Biofilms in the milking machine, from laboratory scale to on-farm results. *Journal Of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25352>
- Dhulipalla, H., Basavegowda, N., Haldar, D., Syed, I., Ghosh, P., Rana, S. S., Somu, P., Naidu, R., Yadav, A. K., Lee, M., & Baek, K. (2025). Integrating phage biocontrol in food production: industrial implications and regulatory overview. *Deleted Journal*, 7(4). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06754-3>
- Domonkos, M., Tichá, P., Trejbal, J., & Demo, P. (2021). Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma Technology in Medicine, Agriculture and Food Industry. *Applied Sciences*, 11(11), 4809. <https://doi.org/10.3390/app11114809>
- Dong, T., Song, S., Liang, M., Wang, Y., Qi, X., Zhang, Y., Yun, X., & Jin, Y. (2016). Gas Permeability and Permselectivity of Poly(L-Lactic Acid)/SiO_x Film and Its Application in Equilibrium-Modified Atmosphere Packaging for Chilled Meat. *Journal Of Food Science*, 82(1), 97-107. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13560>

Escalona, V. H. (2017). *Uso de envasado en atmósfera modificada en los productos de IV y V gama*. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-1548201700200001

Farid, N., Waheed, A., & Motwani, S. (2023). Synthetic and natural antimicrobials as a control against food borne pathogens: A review. *Heliyon*, 9(6), e17021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17021>

FDA. (2024, 1 agosto). *Fish and Fishery Products Hazards and Controls*. U.S. Food And Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/seafood-guidance-documents-regulatory-information/fish-and-fishery-products-hazards-and-controls>

Fuente Salcido, N. M., & Barboza Corona, J. E. (2010). Inocuidad y bioconservación de alimentos. *Acta Universitaria*, 20(1), 43-52.

Galié, S., García-Gutiérrez, C., Miguélez, E. M., Villar, C. J., & Lombó, F. (2018). Biofilms in the Food Industry: Health Aspects and Control Methods. *Frontiers In Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00898>

Garzon, M., Mainali, S., Chacon, M. F., & Azizzadeh-Roodpish, S. (2022). A computational approach to biological pathogenicity. *Molecular Genetics And Genomics*, 297(6), 1741-1754. <https://doi.org/10.1007/s00438-022-01951-w>

Ghoshal, G. (2023). Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: gaps in current studies for potential future research. *Heliyon*, 9(6), e17532. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17532>

Goetz, C., Sanschagrin, L., Jubinville, E., Jacques, M., & Jean, J. (2024). Recent progress in antibiofilm strategies in the dairy industry. *Journal Of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25554>

- Gonçalves, S., Lee, S., Khaneghah, A. M., & Oliveira, C. (2020). Enzyme-based approaches to control microbial biofilms in dairy processing environments: A review. *Quality Assurance And Safety Of Crops & Foods*, 12(SP1), 50-58. <https://doi.org/10.15586/qas.v12sp1.828>
- Hawaz, H., Bottari, B., Scazzina, F., & Carini, E. (2025). Eastern African traditional fermented foods and beverages: Advancements, challenges, and perspectives on food technology, nutrition, and safety. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 24(2). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70137>
- Henney, J. E., Taylor, C. L., & Boon, C. S. (2010). *Preservation and Physical Property Roles of Sodium in Foods*. Strategies To Reduce Sodium Intake In The United States-NCBIBookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK50952/#:~:text=Salt's%20Role%20in%20the%20Prevention,microbial%20growth%20and%20chemical%20reaction>
- Indiarto, R., Jeanette, G., Mulkya, H., Yusra, N. A., & Subroto, E. (2021). A mini-review of salting techniques to improve food quality. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 10(1), 285–289.
- Knorr, D., & Augustin, M. A. (2022). Preserving the food preservation legacy. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 63(28), 9519-9538. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2065459>
- Laerte Packer, A., Rocha Biojone, M., Antonio, I., Mayumi Takemaka, R., Pedroso García, A., Costa da Silva, A., Toshiyuki Murasaki, R., Mylek, C., Carvalho Reisl, O., & Rocha F Delbucio, H. C. (2001). SciELO: una metodología para la publicación electrónica [SciELO: method for electronic publishing]. *Revista española de salud publica*, 75(4), 291–312.
- Lauteri, C., Ferri, G., Piccinini, A., Pennisi, L., & Vergara, A. (2023). Ultrasound Technology as Inactivation Method for Foodborne Pathogens: A Review. *Foods*, 12(6), 1212. <https://doi.org/10.3390/foods12061212>

- Linares-Morales, J. R., Gutiérrez-Méndez, N., Rivera-Chavira, B. E., Pérez-Vega, S. B., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2018). Biocontrol Processes in Fruits and Fresh Produce, the Use of Lactic Acid Bacteria as a Sustainable Option. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00050>
- Liu, Q., Xiong, X., Li, L., Li, B., Zhang, L., Wang, H., & Liu, T. (2024). Impact of Indirect Cold Plasma Combined with Modified Atmosphere Packaging on Quality Attributes of Fresh Produce. *ACS Food Science & Technology*, 4(7), 1690-1699. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00151>
- Liu, R., & Huang, C. (2024). Recent Development and Application of Phage-Mediated Biocontrol Strategies and Detection against Salmonella. En *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1005294>
- Liu, X., Yao, H., Zhao, X., & Ge, C. (2023). Biofilm Formation and Control of Foodborne Pathogenic Bacteria. *Molecules*, 28(6), 2432. <https://doi.org/10.3390/molecules28062432>
- Lucera, A., Costa, C., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2012). Food applications of natural antimicrobial compounds. *Frontiers In Microbiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00287>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2016). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion In Biotechnology*, 44, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- McGovern, P. E., Zhang, J., Tang, J., Zhang, Z., Hall, G. R., Moreau, R. A., Nuñez, A., Butrym, E. D., Richards, M. P., Wang, C., Cheng, G., Zhao, Z., & Wang, C. (2004). Fermented beverages of pre- and proto-historic China. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 101(51), 17593-17598. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407921102>

- Mi, F., Hu, C., Wang, Y., Wang, L., Peng, F., Geng, P., & Guan, M. (2022). Recent advancements in microfluidic chip biosensor detection of foodborne pathogenic bacteria: a review. *Analytical And Bioanalytical Chemistry*, 414(9), 2883-2902. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03872-w>
- Nikolaev, Y., Yushina, Y., Mardanov, A., Gruzdev, E., Tikhonova, E., El-Registan, G., Beletskiy, A., Semenova, A., Zaiko, E., Bataeva, D., & Polishchuk, E. (2022). Microbial Biofilms at Meat-Processing Plant as Possible Places of Bacteria Survival. *Microorganisms*, 10(8), 1583. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081583>
- Niu, D., Zeng, X., Ren, E., Xu, F., Li, J., Wang, M., & Wang, R. (2020). Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China. *Food Research International*, 137, 109715. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109715>
- Palomo, J. G., Balbín, J. A., Blanco, J. P., & Benito, M. S. (2010). Enfermedades infecciosas. Concepto. Clasificación. Aspectos generales y específicos de las infecciones. Criterios de sospecha de enfermedad infecciosa. Pruebas diagnósticas complementarias. Criterios de indicación. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 10(49), 3251-3264. [https://doi.org/10.1016/s0304-5412\(10\)70027-5](https://doi.org/10.1016/s0304-5412(10)70027-5)
- Pankaj, S., Wan, Z., & Keener, K. (2018). Effects of Cold Plasma on Food Quality: A Review. *Foods*, 7(1), 4. <https://doi.org/10.3390/foods7010004>
- Patil, S., Bourke, P., & Cullen, P. (2016). Principles of Nonthermal Plasma Decontamination. En *Elsevier eBooks* (pp. 143-177). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801365-6.00006-8>
- Pignata, C., D'Angelo, D., Fea, E., & Gilli, G. (2017). A review on microbiological decontamination of fresh produce with nonthermal plasma. *Journal Of Applied Microbiology*, 122(6), 1438-1455. <https://doi.org/10.1111/jam.13412>

- Praveen, M., & Brogi, S. (2025). Microbial Fermentation in Food and Beverage Industries: Innovations, Challenges, and Opportunities. *Foods*, 14(1), 114. <https://doi.org/10.3390/foods14010114>
- Rahman, S., Islam, S., Xi, Q., Han, R., Oh, D., & Wang, J. (2022). Control of bacterial biofilms in red meat – A systematic review. *Meat Science*, 192, 108870. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108870>
- Roy, P. K., Roy, A., Jeon, E. B., DeWitt, C. A. M., Park, J. W., & Park, S. Y. (2024). Comprehensive analysis of predominant pathogenic bacteria and viruses in seafood products. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 23(4). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13410>
- Sagar, V. R., & Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal Of Food Science And Technology*, 47(1), 15-26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>
- Sánchez-Moreno, C., González-Peña, D., Colina-Coca, C., & De Ancos, B. (2018). Métodos físicos no tradicionales de control microbiológico aplicables al proceso de elaboración de hortalizas de IV Gama. *Agrociencia*, 22(1), 26-36. <https://doi.org/10.31285/agro.22.1.3>
- Sango, D. M., Abela, D., McElhatton, A., & Valdramidis, V. (2014). Assisted ultrasound applications for the production of safe foods. *Journal Of Applied Microbiology*, 116(5), 1067-1083. <https://doi.org/10.1111/jam.12468>
- Schnabel, U., Niquet, R., Schlüter, O., Gniffke, H., & Ehlbeck, J. (2014). Decontamination and Sensory Properties of Microbiologically Contaminated Fresh Fruits and Vegetables by Microwave Plasma Processed Air (PPA). *Journal Of Food Processing And Preservation*, 39(6), 653-662. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12273>
- Schoina, E., Doulgeraki, A. I., Miliou, H., & Nychas, G. E. (2022). Dynamics of Water and Biofilm Bacterial Community Composition in a Mediterranean

- Recirculation Aquaculture System. *Aquaculture Journal*, 2(2), 164-179. <https://doi.org/10.3390/aquacj2020008>
- Shah, A. S., Bhat, S., Muzaffar, K., Ibrahim, S. A., & Dar, B. (2022). Processing Technology, Chemical Composition, Microbial Quality and Health Benefits of Dried Fruits. *Current Research In Nutrition And Food Science Journal*, 10(1), 71-84. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.10.1.06>
- Sionek, B., Szydłowska, A., & Kołożyn-Krajewska, D. (2024). The Role of Microorganisms and Their Antibacterial Compounds in Food Biopreservation. *Applied Sciences*, 14(13), 5557. <https://doi.org/10.3390/app14135557>
- Soltani, S., Hammami, R., Cotter, P. D., Rebuffat, S., Said, L. B., Gaudreau, H., Bédard, F., Biron, E., Drider, D., & Fliss, I. (2020). Bacteriocins as a new generation of antimicrobials: toxicity aspects and regulations. *FEMS Microbiology Reviews*, 45(1). <https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa039>
- Stoffels, E., Sakiyama, Y., & Graves, D. B. (2008). Cold Atmospheric Plasma: Charged Species and Their Interactions With Cells and Tissues. *IEEE Transactions On Plasma Science*, 36(4), 1441-1457. <https://doi.org/10.1109/tps.2008.2001084>
- Tarifa, M. C., Del Rosario Agustín, M., & Brugnoli, L. I. (2023). Biological control of foodborne pathogens by lactic acid bacteria: A focus on juice processing industries. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 378-386. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.04.001>
- Thierry, A., Baty, C., Marché, L., Chuat, V., Picard, O., Lortal, S., & Valence, F. (2023). Lactofermentation of vegetables: An ancient method of preservation matching new trends. *Trends In Food Science & Technology*, 139, 104112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.009>
- Torkashvand, N., Kamyab, H., Aarabi, P., Shahverdi, A. R., Torshizi, M. A. K., Khoshayand, M. R., & Sepehrizadeh, Z. (2024). Evaluating the effectiveness

- and safety of a novel phage cocktail as a biocontrol of Salmonella in biofilm, food products, and broiler chicken. *Frontiers In Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1505805>
- Tripathi, N., Zubair, M., & Sapra, A. (2025, 1 enero). *Gram staining*. PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32965827/>
- Waghmare, R., & Annapure, U. (2013). Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology And Technology*, 85, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.05.010>
- WHO. (2016). World Health Organization.
- Williamson, P. O., & Minter, C. I. J. (2019). Exploring PubMed as a reliable resource for scholarly communications services. *Journal Of The Medical Library Association JMLA*, 107(1). <https://doi.org/10.5195/jmla.2019.433>
- Zhang, C., Lyu, X., Arshad, R. N., Aadil, R. M., Tong, Y., Zhao, W., & Yang, R. (2022). Pulsed electric field as a promising technology for solid foods processing: A review. *Food Chemistry*, 403, 134367. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134367>
- Zhang, J., Lu, Z., Feng, L., Qu, D., & Zhu, J. (2024). Identification of microbial communities and multi-species biofilms contamination in seafood processing environments with different hygiene conditions. *Food Microbiology*, 122, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104553>
- Zhang, J., Ma, C., Du, Y., Huang, J., & Xue, L. (2025). Microfluidic biosensors for rapid detection of foodborne pathogenic bacteria: recent advances and future perspectives. *Frontiers In Chemistry*, 13. <https://doi.org/10.3389/fchem.2025.1536928>

Zhao, G., Guo, Y., Sun, X., & Wang, X. (2015). A System for Pesticide Residues Detection and Agricultural Products Traceability Based on Acetylcholinesterase Biosensor and Internet of Things. *International Journal Of Electrochemical Science*, 10(4), 3387-3399. [https://doi.org/10.1016/s1452-3981\(23\)06548-3](https://doi.org/10.1016/s1452-3981(23)06548-3)

Zhao, Y., Shang, Y., Wang, Z., Wang, Z., Xie, J., Zhai, H., Huang, Z., Wang, Y., Wu, Q., Ding, Y., & Wang, J. (2024). The recent advances of high-throughput biosensors for rapid detection of foodborne pathogens. *TrAC Trends In Analytical Chemistry*, 176, 117736. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117736>