Efecto de diferentes bacteriocinas producidas por bacterias ácido-lácticas en la inhibición de microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas: revisión sistemática de la literatura

Froilan Antonio Silvera Escudero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e ingeniería ECBTI

Maestría en Biotecnología Alimentaria

2023

Efecto de diferentes bacteriocinas producidas por bacterias ácido-lácticas en la inhibición de microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas: revisión sistemática de la literatura

Froilan Antonio Silvera Escudero

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Biotecnología Alimentaria

Director (a):

MSc. Ruth Mary Benavides Guevara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e ingeniería ECBTI

Maestría en Biotecnología Alimentaria

2023

Declaración de derechos de propiedad intelectual

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

Agradecimientos

A Dios por darme la fortaleza e inteligencia a pesar de todos mis problemas de salud no fueron obstáculo para terminar la maestría. También expreso mis agradecimientos a la Ingeniera MSc. Ruth Mary Benavides por su constante ayuda con sus observaciones pertinentes desde el primer periodo de la maestría, y su destreza para apoyar en la elaboración de la Monografía. Además, también agradecer a la Doctora Laura Reyes por sus acertados aportes y observaciones en el curso de seminario de investigación.

Resumen

La carne y sus derivados son ricos en sustratos que favorecen el deterioro por la acción de microorganismos y enzimas, expresándose en oxidación, cambios sensoriales, reducción de la vida útil, aumento del riesgo de ETAs, que al final es rechazado por el consumidor. En la actualidad se utilizan los conservantes químicos para el control de microorganismos patógenos y de deterioro del producto, sin embargo, pueden producir alergias y ser tóxicos, al ser necesario analizar nuevas opciones de conservación que brinden alimentos inocuos, nutritivos, con una vida útil extendida, y que proporcionen beneficios a la salud. El objetivo de esta monografía fue realizar una revisión sistemática de la literatura para evaluar el efecto de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas, con el fin de generar nuevas alternativas de bio-conservación. La metodología que se empleó en esta revisión es una búsqueda de artículos publicados en las bases de datos Science Direct, Scopus, y web of sciencie, empleando diferentes ecuaciones de búsqueda. De los resultados obtenidos de la búsqueda se identificaron un total de 3411 publicaciones donde se tamizaron 981 con el criterio de inclusión y 111 artículos que han abordado a las bacteriocinas como inhibidoras de bacterias patógenas y 27 han planteado su modo de inhibición. Finalmente se eligen 30 artículos que apliquen a matrices cárnicas. Este proceso es necesario para comprobar el efecto de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas en combinación con los métodos de barrera empleados en la industria cárnica, para reforzar los métodos de obstáculo establecidos, y así extender la vida útil del producto final, y proporcionar al consumidor carnes que beneficien su salud. Además, se describió el modo de acción de las bacteriocinas sobre los microorganismos patógenos y deteriorantes donde se identificaron y se propuso posibles aplicaciones y oportunidades biotecnológicas en la industria cárnica.

Palabras claves: *Lactobacillus*, bacteriocinas, carne, *Bacterias ácido-lácticas*

Abstract

The meat and its derivatives are rich in substrates that favor deterioration by the action of microorganisms and enzymes, expressed in oxidation, sensory changes, reduction of shelf life, increased risk of ETAs, which in the end is rejected by the consumer. Currently, chemical preservatives are used to control pathogenic microorganisms and product spoilage, however, they can cause allergies and be toxic, as it is necessary to analyze new preservation options that provide safe, nutritious food, with an extended shelf life, and that provide health benefits. The objective of this monograph is to carry out a systematic review of the literature to evaluate the effect of bacteriocins on pathogenic and deteriorating microorganisms in meat matrices, in order to generate new bio-conservation alternatives. The methodology used in this review is a search of articles published in the database Science Direct, Scopus, and web of science, using different search equations. From the results obtained from the search, a total of 3411 publications were identified where 981 were screened with the inclusion criterion and 111 articles that have addressed bacteriocins as inhibitors of pathogenic bacteria and 27 have raised their mode of inhibition. Finally, 30 articles are chosen that apply to meat matrices. This process is necessary to determine the effect of bacteriocins on pathogenic and deteriorating microorganisms in meat matrices in combination with the barrier methods used in the meat industry, to reinforce the established obstacle methods, and thus extend the shelf life of the final product and provide the consumer with meats that benefit their health. In addition, the mode of action of bacteriocins on pathogenic and deteriorating microorganisms was described where possible applications and biotechnological opportunities in the meat industry were identified and proposed.

Keywords: *Lactobacillus*, bacteriocins, meat, *Lactic acid bacteria*

Tabla de contenido

Planteamiento del Problema 17

Justificación 19

Objetivos 22

Objetivo General: 22

Objetivos Específicos: 22

Marco Teórico 23

Consumo de la Carne a Nivel Internacional 23

Producción de Carne en Colombia 25

Higiene y Sanitización en la Producción de la Carne 26

Conservación de Productos Cárnicos 27

Métodos de Conservación Tradicionales 28

Nitritos y Nitratos 28

Refrigeración 28

Acidificación 29

Métodos Alternativos de Bioconservacion en Productos Cárnicos 30

Nuevas Fuentes de Bacteriocinas. 31

Clasificación de las Bacteriocinas. 32

Bacteriocinas Clase I 32

Lantibióticos Tipo A. 33

Lantibióticos Tipo B. 33

Bacteriocinas Clase II No Lantibióticos 34

Clase IIa. 34

Clase IIb 34
Bacteriocinas Clase III Termolábiles 35
Metodología 36
Tipo de Estudio 36
Identificación, Tamización, Elección e Inclusión de Estudios 36
Recolección de la Información 37
Elección de Artículos que Cumplieron los Objetivos Específicos 37
Análisis de la Información 37
Resultados y Análisis de Resultados 38
Análisis de la Búsqueda de Artículos con las Palabras Generales 38
Análisis de Búsqueda de Artículos con las Palabras Claves 38
Análisis de la Tamización, Elección e Inclusión de Estudios 40
Análisis de Información de Bacteriocinas que han Abordado Inhibición de Microorganismos Patógenos y Describen su Modo de Acción. 42
Análisis de Estudios de Bacteriocinas que Inhiben Microorganismos Patógenos 44
Modo de Acción de las Bacteriocinas Sobre Microorganismos Patógenos y Deteriorantes 48
Aplicación de las Bacteriocinas como Biopreservantes en Productos Cárnicos 61
Embutidos 61
Embutidos Fermentados. 62
Carnes 62
Análisis de las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA) al Aplicar Bacteriocinas en la Industria de Alimentos 64
Conclusiones 65

Recomendaciones 67

Referencias. Bibliográficas 68

Lista de Figuras

Figura 1 *Consumo anual de carne en EUA 1960-2021* 24

Figura 2 *Producción de carne en Colombia* 26

Figura 3 *Resultados búsqueda con palabras generales* 38

Figura 4 *Algoritmo de selección de los artículos* 41

Figura 5 *Imágenes del efecto inhibitorio de las bacteriocinas K10 y HW01 sobre la formación de biofilm de S. Typhimurium mediante el análisis con microscopía electrónica* 47

Figura 6 *Efecto anti-biofilm sobre la formación biofilm de S. Typhimurium por bacteriocina* .. 48

Figura 7 *Actividad antimicrobiana de MccJ25(G12Y) en carne molida* 51

Figura 8 *Espectro UV-vis de nisina pura que se utiliza para la identificación de grupos funcionales orgánicos.* 54

Figura 9 *Inhibición de crecimiento de patógenos por parte de la Nisina* 55

Figura 10 *Actividad antimicrobiana de la Nisina* 55

Figura 11 *Efecto de Mentha piperita EOs y su combinación con BacTN635 sobre los recuentos de Aerobios Mesófilos de la carne de res molida* 56

Figura 12 *Efecto de Mentha piperita EOs y su combinación con BacTN635 sobre los valores de pH de la carne de res molida.* 58

Figura 13 *Efecto de EOMP y su combinación con BacTN635 sobre los valores de Olor de la carne de res molida* 59

Figura 14 *Cambios de pH en las hamburguesas inoculadas con Escherichia coli y adicionadas con antimicrobianos a lo largo de 8 días almacenadas a 4 ºC* 60

Figura 15 *DOFA al Aplicar Bacteriocinas en la Industria de Alimentos* 64

Lista de Tablas

Tabla 1 *Resultados utilizando las palabras claves con criterios de inclusión y exclusión* 39

Tabla 2 *Tamización de artículos aplicando criterios objetivos específicos* 40

Tabla 3 *Descripción de los principales estudios de bacteriocinas que han abordado la inhibición de microorganismos patógenos y describen su modo de acción* 42

Tabla 4 *Efecto de las bacteriocinas K10 y HW01 en la formación de biopelícula de S. Typhimurium después de 24 h-cultivo* 46

Tabla 5 *Efecto de las bacteriocinas K10 y HW01 en la formación de biopelículas de S. Typhimurium en diferentes puntos temporales* 46

Tabla 6 *Actividad inhibitoria de pediocina en combinación con aceites esenciales* 53

Tabla 7 *Índices de concentración inhibitoria fraccional (FIC) de nisina en combinación con aceites esenciales* 53

Tabla 8 *Conteo de Escherichia Coli, reducción logarítmica de Escherichia Coli y valor de pH en hamburguesas con varios antimicrobianos después de 8 días en refrigeración 4 ºC* 60

Tabla 9 *Aplicaciones de bacteriocinas clase II de bacterias del ácido láctico* 62

Lista de Apéndices

Apéndice A. Resultados revisión artículos de investigación Scopus y Web of Science 77

Apéndice B. Resultados revisión artículos de investigación Science direct..... 80

Lista de símbolos y abreviaturas

ETA: Enfermedades transmitidas por alimentos

UFC: Unidad formadora de colonia

STEC: *Escherichia coli* productora de toxina Shiga

OMS: Organización Mundial de la Salud

SUH: Síndrome urémico hemolítico

EOMP: Aceite esencial de *Mentha piperita*

BAL: Bacterias del ácido láctico

GRAS: Generalmente considerado como seguro

UE: Unión Europea

DOFA: debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas

DFD: Dark, Firm and Dry

Introducción

La carne es definida por la Asociación Americana de Ciencias de la Carne, como el músculo esquelético incluyendo los nervios, los tejidos conectivos, los vasos sanguíneos, la piel, la grasa y los huesos. Además, vísceras comestibles de mamíferos, aves y especies acuáticas consideradas seguras y adecuadas para el consumo humano. La calidad de la carne es un término que abarca principalmente apariencia, palatabilidad, vida útil (estabilidad del color, oxidación lipídica y retención de la calidad inicial), y seguridad microbiológica (Bohrer, 2017).

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) son un grupo de bacterias grampositivas que comparten el rasgo común de producir ácido láctico. Los alimentos fermentados son el principal nicho ecológico para las BAL en la naturaleza. Se reporta que los seres humanos las han consumido con alimentos o han estado en contacto cercano lo largo de la historia sin efectos adversos aparentes (Yi et al., 2022). De hecho, se caracterizan porque pueden producir metabolitos, incluyendo las bacteriocinas, para inhibir microorganismos patógenos transmitidos por los alimentos contaminados, son generalmente reconocidas como seguras (GRAS) y tienen un gran potencial como bio-preservantes (Yi et al., 2022).

El uso de antimicrobianos naturales o bio-preservantes como sustituto de los aditivos químicos es inevitable por los problemas asociados con la resistencia bacteriana y por la demanda de los alimentos con menos aditivos químicos. La bio-preservación se refiere a una estrategia natural para prolongar la vida útil, mejorar calidad e inocuidad de los alimentos, mediante la aplicación de las BAL y/o sus compuestos antibacterianos (bacteriocinas, ácido láctico etc) (Gálvez et al., 2014; Kretli, 2016).

Las investigaciones sobre bacteriocinas, especialmente las producidas por BAL, han llamado la atención de los académicos e investigadores por su potencial para ser utilizadas como

conservante natural de alimentos, como antibióticos terapéuticos y también porque no se han encontrado informes sobre el desarrollo de bacterias resistentes. Las bacteriocinas son consideradas“compuestos proteinaceos sintetizados por bacterias Gram positivas y Gram negativas, que presentan una actividad inhibitoria contra especies relacionadas con la bacteria que las produce” (Beshkova & Frengova, 2012), estos péptidos sintetizados ribosómicamente presentan una actividad antimicrobiana contra cepas estrechamente relacionadas ya que las cepas productoras de bacteriocinas son inmunes a los efectos de los péptidos antibacterianos producidos por ellas. La secuencia de aminoácidos de las bacteriocinas presenta una gran variedad, sin embargo, comparten algunos aspectos como: bajo peso molecular, estabilidad al calor y al pH, y naturaleza catiónica o hidrófoba. Además, las bacteriocinas son incoloras, inodoras e insípidas, lo que aumenta aún más su utilidad potencial. La clasificación de las bacteriocinas se divide en clase I, clase II y clase III. La clase I incluye bacteriocinas o antibióticos con pequeño peso molecular (<5 kDa). La nisina es la bacteriocina más conocida de esta categoría. La clase II incluye los no antibióticos, con peso molecular (<10 kDa), estables al calor, y tienen una carga positiva. Este grupo se subdivide en cuatro subclases: bacteriocinas "similares a la pediocina" (clase IIa), bacteriocinas de dos componentes (clase IIb), bacteriocinas circulares (clase IIc) y bacteriocinas no modificadas, lineales, no similares a la pediocina (clase IId). La clase III contiene bacteriocinas de gran peso molecular (>30 kDa), proteínas termoestables y presentan dos subgrupos: la enterolisina A y bacteriocinas que son proteínas no líticas como la caseicina 80 (Kretli, 2016).

Por lo anterior, el objetivo de esta monografía es realizar una revisión sistemática de la literatura para evaluar el efecto de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas, con el fin de generar nuevas alternativas de bio-conservación

Planteamiento del Problema

En Colombia para el año 2019, la producción de carne bovino-deshuesada fue de 29.280 toneladas, y la carne en canal de 769.960 toneladas. Además, la carne de pollo, y carne de porcino presentaron producciones de 1.693.178 y 422.077 toneladas respectivamente (FAO, 2022).

La carne y los productos cárnicos son alimentos considerados de alto riesgo debido a los sustratos como la proteína que favorece la contaminación, así como parámetros como la actividad de agua, el pH, y el alto contenido de agua que ocasiona el deterioro y crecimiento de microorganismos patógenos, al desarrollar cambios indeseables en las propiedades organolépticas, generando patógenos o toxinas que pueden pueda provocar daño a la salud del consumidor, expresándose en una enfermedad transmitida por alimentos (ETAs), que su impacto dependerá del género y carga bacteriana (FAO, 2022 & Ishaq et al., 2021).

Por otro lado, la contaminación inicial de la carne con bacterias patógenas ocurre en la etapa de desollado y la contaminación posterior a menudo ocurre durante el procesamiento, la manipulación y el almacenamiento. A nivel mundial, se han implementado sistemas de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) con las buenas prácticas de manufactura (BPM), los programas prerrequisitos (PPR), y las técnicas de obstáculo, para evitar que las bacterias patógenas contaminen la carne y para atenuar los riesgos asociados con estos patógenos. Sin embargo, a pesar de estos programas, no se ha podido garantizar la ausencia de estos patógenos de la carne, ya que se han publicado brotes repetidos en todo el mundo, ni tampoco una vida útil extendida que mantenga las propiedades sensoriales durante la distribución en el transporte de larga distancia (Ishaq et al., 2021).

Se reporta que uno de los métodos tradicionales de conservación para los productos cárnicos es la refrigeración, sin embargo, la temperatura de conservación genera una corta vida útil del producto, de hecho, limita su distribución durante el transporte de larga distancia, ya que la inhibición no es completa (Naqvi et al., 2022). Mientras la congelación puede disminuir la supervivencia y/o inactivar la reproducción de microorganismos, extendiendo su vida útil, sin embargo, algunas cualidades como el contenido de agua, las sales solubles, las proteínas, el sabor, la textura, la jugosidad, la apariencia y el color son afectadas, al producir daño en las paredes celulares, y evacuación de nutrientes (Mohammed et al., 2021). Otros métodos tradicionales reconocidos y empleados para conservar matrices cárnicas a través de la historia son los químicos, sin embargo, son un peligro para la salud de las personas, al reportar que las bacterias se vuelvan resistentes a múltiples antibióticos, pueden ser tóxicos y causar alergias, al ser necesario estudiar nuevas alternativas de conservación y emplear compuestos naturales (Yan et al., 2021).

Por tal razón, para resolver los problemas expuestos, se necesita un bio-conservante como las bacteriocinas que detenga o reduzca su deterioro y refuerce las técnicas de obstáculos en la industria cárnicas, con el fin de alargar la vida útil y que no perjudique la salud del consumidor.

Para esta monografía la pregunta de investigación se platea de la siguiente manera:

¿Cuáles son las bacteriocinas más útiles para inhibir microrganismos patógenos y deteriorantes en productos cárnicos que promuevan la bioconservación?

Justificación

La carne y los productos cárnicos son de gran importancia en la dieta del ser humano, por su alta fuente de proteínas, zinc, hierro, vitaminas B y aminoácidos esenciales, (Bohrer, 2017), según la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) de 2015, el consumo diario de carne de res de los colombianos está en un 45%, en una cantidad promedio de 102 gramos (Ensin, 2015). Sin embargo, estos productos se caracterizan por ser perecederos y susceptibles a la contaminación microbiana, lo que lleva a un mayor riesgo para la salud de los consumidores, así como la pérdida económica en la industria cárnica (Bohrer, 2017; Kaur & Kaur, 2021; Yi et al., 2022.).

Esta monografía tiene como propósito hacer una revisión sistemática bibliográfica de diferentes documentos, que permitan comprobar el efecto de las bacteriocinas para la inhibición de microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas, como nueva alternativa de bioconservacion para la industria de alimentos. Además, que brinden carnes inocuas, con una vida útil extendida, que no perjudique a la salud y contribuya con la disminución del impacto ambiental que este genera al usar conservantes naturales en forma directa o a través de la aplicación en empaques antimicrobianos. La utilización de bacteriocinas puede contribuir eficazmente a la inocuidad de las carnes, especialmente cuando se integra con técnicas de obstáculos, debido a que son una estrategia bioprotectora relevante para controlar el deterioro de microorganismos patógenos como la *Listeria* (Orihuel et al., 2018).

Las bacteriocinas son derivados del metabolismo principal de BAL, con funciones antimicrobianas reconocidas como bio-conservantes, de hecho, reportan que en combinación con técnicas de obstáculo proporcionan una seguridad adecuada al reducir la patogenicidad de los microorganismos de deterioro, mejorando las características sensoriales y vida útil de las carnes

y sus derivados (Bhattacharya et al., 2022), al generar un mínimo impacto en las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos, por su baja toxicidad y estabilidad (O'Connor et al., 2020).

Varios estudios han demostrado la eficacia de las bacteriocinas, tanto *in vitro* como en modelos alimentarios (Corbalán et al., 2021). Por ejemplo, la aplicación de bacteriocinas a la carne de res es segura por su baja actividad hemolítica contra los eritrocitos murinos, se demostró que el efecto de las bacteriocinas durante el almacenamiento refrigerado de la carne de res se debe por la reducción o disminución de recuentos celulares de bacterias patógenas como *Escherichia coli* y el *Staphylococcus áureus* de 63.6% y 67.8 % respectivamente (Yan et al., 2021).

La actividad antimicrobiana de las bacteriocinas contra las Grampositivas y Gramnegativas mostró una buena actividad de inhibición contra *Listeria monocytogenes, Enterococcus faecalis, Staphylococcus aureus*. *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium.* Especialmente mostró una fuerte inhibición antibacteriana contra algunos *Staphylococcus aureus* y *Cronobacter sakazakii* resistentes a múltiples fármacos (Yan et al., 2021).

Otro estudio reporta que los ácidos orgánicos utilizados en los puntos críticos de control en los procesos de sacrificio del ganado no son suficientes para alcanzar la vida útil exigida en los mercados de la Unión Europea (UE) para carnes refrigeradas. Por lo tanto, es necesario la adición de las bacteriocinas o en combinación con métodos de conservación, para potencializar la actividad de preservación (Aguado et al., 2010).

Se considera que el aumento de la carga neta de bacteriocinas a pH bajo podría facilitar la translocación de moléculas de bacteriocinas a través de la pared celular. También la solubilidad puede aumentar a un pH más bajo, facilitando la difusión de las moléculas. Los agentes

quelantes penetran en la membrana externa de las bacterias gramnegativas mediante la extracción de Ca^{2+} y Mg^{2+} cationes que estabilizan el lipopolisacárido de esta estructura, permitiendo que las bacteriocinas lleguen a la membrana citoplasmática. Por ejemplo, el fosfato trisódico o citrato y bacteriocinas contra bacterias Gramnegativas han demostrado su efecto mejorado en alimentos (Gálvez et al., 2014).

Algunas de los productos cárnicos cocidos, también pueden someterse a un procesamiento adicional, como el corte, el pelado y el envasado, lo que aumenta los riesgos de contaminación cruzada. Por estas razones, ha existido un gran interés en la aplicación de bacteriocinas (principalmente pediocina y nisina) como obstáculos contra el deterioro de bacterias patógenas (Gálvez et al., 2014).

Por lo anteriormente expuesto se concluye que la carne y sus derivados tiene un consumo significativo y es importante para el ser humano por los nutrientes que contiene. Sin embargo, presenta un alto riesgo de deterioro debido a su naturaleza perecedera, al ser necesario implementar nueva alternativa de conservación como la bioconservación (bacteriocinas) y a su vez combinar otras técnicas de obstáculos (ácidos orgánicos, aditivos químicos) a las carnes y sus derivados para inhibir microorganismos patógenos, esperando mejorar las características sensoriales y vida útil cuando se almacena en refrigeración o cuando se someten a un procesamiento adicional.

Objetivos

Objetivo General:

Evaluar el efecto de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas empleando una revisión sistemática de la literatura.

Objetivos Específicos:

Comprobar el efecto de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas empleando una revisión sistemática de la literatura.

Describir el modo de acción de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes para las posibles aplicaciones y oportunidades biotecnológicas de la industria cárnica.

Marco Teórico

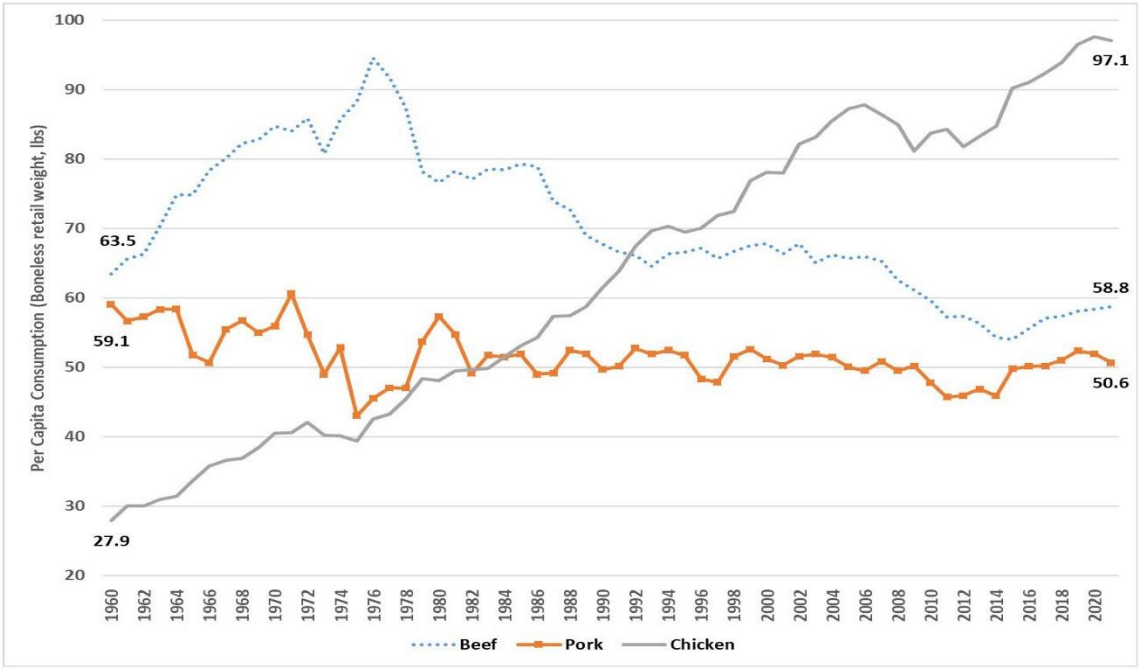
La carne forma parte de una dieta equilibrada, aportando valiosos nutrientes beneficiosos para la salud, esta contiene importantes niveles de proteínas, vitaminas, minerales y micronutrientes, esenciales para el crecimiento y el desarrollo. La ingestión de proteínas de la carne da lugar a funciones fisiológicas importantes para el ser humano, junto con un alto valor nutritivo (Arihara et al., 2021).

Consumo de la Carne a Nivel Internacional

El consumo de carne en los Estados Unidos (EUA) se resume en la figura 1, en 1960 las personas consumieron 150 libras de carne que consistía en carne de res (64 libras), cerdo (59 libras) y pollo (28 libras). El consumo per cápita de carne de res y cerdo alcanzó su punto máximo en la década de 1970 y el pollo aumentó en las próximas décadas. Para 2021, el consumo doméstico de carne per cápita fue de 207 libras, y la carne de res, cerdo y pollo representaron 59, 51 y 97 libras, respectivamente. Por lo tanto, ha existido un aumento del 38% en el volumen total de carne consumida por persona desde 1960. Además, una vez que se tiene en cuenta el hecho de que la población ha aumentado durante este período de tiempo, el consumo total de carne ha crecido considerablemente. En resumen, a pesar de dicha atención de los medios, el consumo de carne en los Estados Unidos sigue siendo robusto, y ha presentado un crecimiento significativo en el consumo de carne, particularmente la de pollo (Tonsor & Lusk, 2022).

Figura 1

Consumo anual de carne en EUA 1960-2021



Fuente: Tomado de (Tonsor & Lusk, 2022)

En la industria cárnica son sacrificados cada año cerca de 330 millones de animales de las especies más consumidas: bovinos, ovinos, porcinos y caprinos en la Unión Europea (Toldrá et al., 2021). El consumo mundial de carne de cerdo representa el 40%, además existen diferentes tipos de productos de cerdo en el mercado, como tocino, salchichas, carne ahumada y jamón, pero la carne de cerdo fresca constituye la mayor proporción del consumo de carne de cerdo. Actualmente, la carne de cerdo refrigerada es la forma más común de consumo como carne fresca, sin embargo, es altamente susceptible al deterioro por los microorganismos patógenos que pueden ser un vehículo de ETAs. Por ejemplo, la *Listeria monocytogenes* es el principal patógeno de preocupación ya que puede resistir la refrigeración, la pasteurización y un valor de pH tan bajo como 3.5. Estos microrganismos presentan la capacidad de crecer a temperaturas que oscilan entre 1 °C y 45 °C, su alta tolerancia a la sal y su capacidad para iniciar el crecimiento a

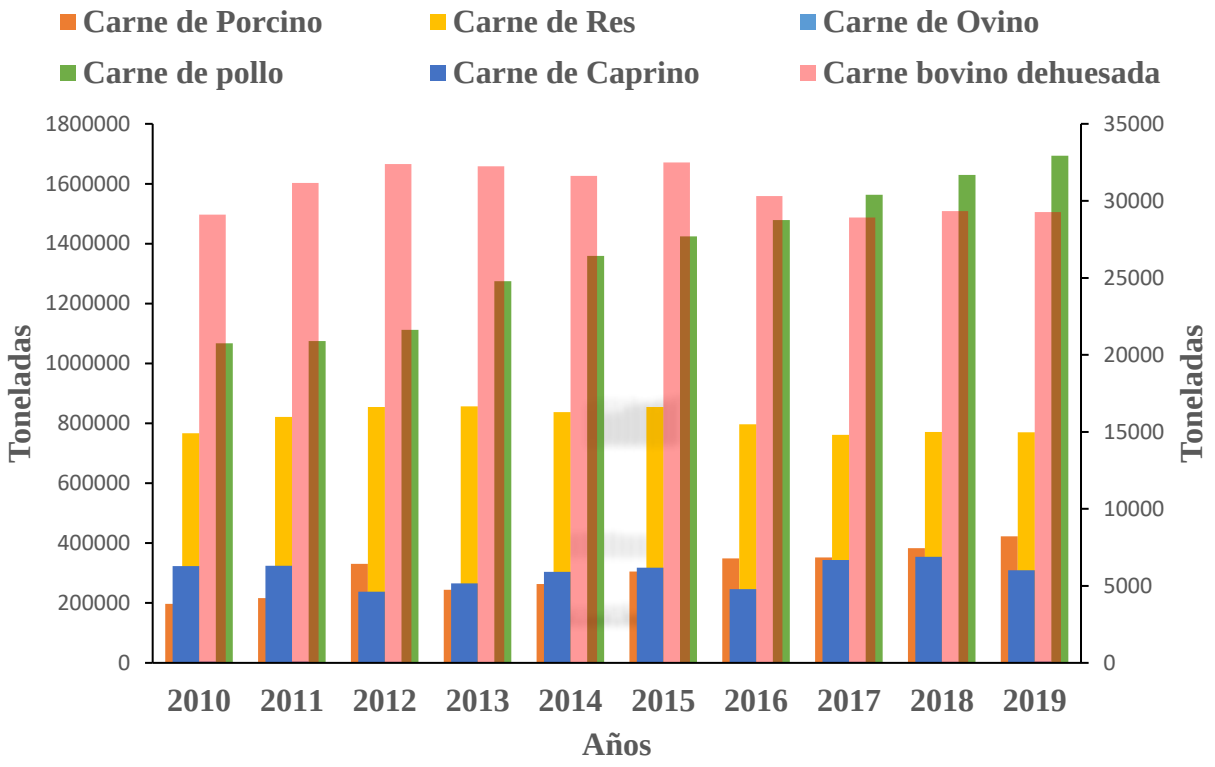
un pH relativamente bajo hacen que estos patógenos sean particularmente difíciles de controlar en los productos cárnicos de cerdo (Castro, 2016). Por lo tanto, es relevante mejorar la seguridad microbiana y extender la vida útil de los productos cárnicos.

Producción de Carne en Colombia

La producción de carne en Colombia se resume en la figura 2, se presenta el comercio de la carne en Colombia al mostrar los niveles de tendencia hacia el alza en las especies de pollo y porcino. Por ejemplo, la carne pollo en el 2010 inicio 1.066.943 toneladas y finalizo para el 2019 con 1.693.178 toneladas, la carne de porcino aumento de 196.614 a 422.077, las demás especies mantuvieron tendencias constantes por ejemplo la carne de res inicio en el 2010 con 766.591 y en 2019 finalizo con 769.960 toneladas (Sastoque Méndez, 2017 & FAO, 2022).

Figura 2

Producción de carne en Colombia



Fuente: FAO (2022)

Higiene y Sanitización en la Producción de la Carne

El ganado es transportado en camiones, ferrocarril o barco, se debe tener en cuenta de garantizar que no sufrirá agotamiento, heridas, contusiones, fracturas e incluso asfixia. Para evitar contraer enfermedades contagiosas, los camiones se deben ser lavados y desinfectados entre carga y carga de ganado. En la recepción del ganado se debe dar un reposo y hacer una inspección *ante mortem* para determinar condiciones de salud. Cuando entra al sacrificio el animal es aturdido con una pistola de perno cautivo sin inyección de aire, se iza y se sangra inmediatamente hasta el final, para obtener una carne de calidad, sin la presencia de restos de sangre en los tejidos. Durante toda la faena los cuchillos de incisión y desollado deben

desinfectarse por cada canal, con agua a una temperatura mayor de 82.5 ºC. El procedimiento de evisceración debe efectuarse en el menor tiempo posible (30 minutos) después de la muerte del animal para, así, evitar los problemas derivados de la fermentación y posible putrefacción del contenido intestinal, con la consiguiente absorción de olores desagradables por parte de la carne. A toda costa debe evitarse la contaminación de órganos y la canal por eso se debe utilizar ligaduras al seccionar el recto, esófago, píloro y vejiga. Luego de extraídas las vísceras, éstas deben ser sometidas a inspección veterinaria en conjunto con las canales a las que pertenecen para impedir que las canales pasen contaminadas. Por ultimo las canales son lavadas, refrigeradas para luego ser despostadas (Schmidt Hebbel, 1984).

Conservación de Productos Cárnicos

La carne y los productos cárnicos son considerados como importantes potenciadores para el crecimiento y la salud de las personas, gracias a sus propiedades nutricionales por sus niveles de proteínas, ácidos grasos, vitaminas, minerales. Los consumidores han mostrado su preocupación por mejorar la comercialización de la carne y los productos cárnicos, así como por garantizar sus efectos beneficiosos para la salud. Estos productos cárnicos se contaminan con frecuencia con bacterias patógenas transmitidos por los alimentos, como el *Escherichia coli* productora de toxina Shiga, *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes*, *Clostridium perfringens* y *Salmonella spp* que pueden causar problemas de salud como toxicidad e infecciones graves a los seres humanos (Ben et al., 2017). Por lo tanto, se necesita una conservación efectiva para inhibir o reducir la supervivencia microbiana en la carne y los productos cárnicos. A continuación, se describen métodos de conservación tradicionales y alternativos.

Métodos de Conservación Tradicionales

Los métodos tradicionales de conservación destruyen o inactivan enzimas y microorganismos patógenos. Entre estos métodos se pueden considerar tratamientos físicos tales como la pasteurización, congelación, refrigeración, y los químicos como la adición de conservantes y aditivos (nitritos, sorbatos, sulfitos). En estos métodos, aunque sin duda son eficientes, hay que procesar severamente al alimento, provocando así la pérdida de nutrientes y en algunos casos modificando el sabor del alimento. Los nuevos métodos de tratamiento y conservación de los alimentos tienen la misma función que los anteriores, sólo que mejorando la calidad del producto final (Betancur Giraldo, 2021).

Nitritos y Nitratos

El nitrito y el nitrato son aditivos alimentarios comúnmente utilizados como agentes antimicrobianos y como conservadores de color para productos cárnicos. Además, estos conservantes químicos son responsables de la inhibición del crecimiento bacteriano patógeno. Estas sustancias químicas artificiales son perjudiciales para la salud, debido a la posible inducción de nitrosaminas cancerígenas. Además, los iones nitrito causan metahemoglobinemia debido al cambio de oxihemoglobina en ferrohemoglobina. Esta enfermedad puede ser letal para los bebés menores de un año por asfixia. Es así, que las industrias alimentarias han venido desarrollando tecnologías alternativas de bio-preservación cárnica.

Refrigeración

La refrigeración, y el almacenamiento en refrigeración en general, es actualmente el método más suave de conservación de los alimentos. Tiene pocos efectos adversos en el sabor, textura, valor nutritivo y otros atributos de los alimentos, siempre que se sigan unas simples reglas y los períodos de almacenamiento no sean excesivamente largos. A pesar de que la

refrigeración y el almacenamiento en refrigeración reducen la velocidad de deterioro de los alimentos, en la mayoría de los casos no lo impiden efectivamente (Potter & Hotchkiss, 1999).

Las cámaras se mantienen a una temperatura próxima a los 4ºC, porque es apropiada al final del proceso de maduración, pero sobre todo porque es difícil mantener temperaturas más bajas, por las repetidas aperturas de puertas. La capacidad de conservación de la carne refrigerada depende de las condiciones ambientales de la cámara, y también del estado higiénico del producto al ingresar al cuarto frio. Requisito previo para una buena conservación de la carne es una baja tasa inicial de gérmenes en las superficies de las canales. Cuando se pretende almacenar la carne refrigerada durante largos periodos conviene almacenar a una temperatura cercana a 0 ºC. Al envasar la carne a vacío es de gran importancia conocer el pH de esta, con un pH elevado (carne DFD) no se puede someter a este tipo de envasado ya que se altera rápidamente debido a ciertas bacterias que son facultativas anaerobias, pero al tiempo, son muy sensibles a valores bajos de pH. También el enfriamiento *post mortem* de las canales de ganado se emplea principalmente para garantizar la inocuidad y maximizar la vida útil, con menos énfasis en mantener la ternura y el color en el producto final. La baja temperatura reduce la tasa de reacciones bioquímicas y el crecimiento microbiano. Dado que la temperatura es el factor más importante que afecta el microbiota de la carne, el enfriamiento de las canales será el primer obstáculo que las bacterias del deterioro deberán superar durante el almacenamiento de la carne. El proceso de enfriamiento de los canales después del sacrificio tiene un fuerte efecto en la calidad de la carne, así como en la velocidad de deterioro (Castellano et al., 2008).

Acidificación

La acidificación se utiliza para inhibir el crecimiento de bacterias patógenos importantes como *Listeria monocytogenes y Escherichia coli*. Los ácidos orgánicos protonados pasan a través

de la membrana celular bacteriana y alteran su permeabilidad. La acidificación interfiere principalmente con el crecimiento de bacterias, ya que solo unas pocas pueden sobrevivir por debajo de pH 3.5. Los ácidos carboxílicos débiles, como el ácido acético, láctico, sórbico y benzoico, y los inorgánicos (sulfito, nitrito) se utilizan generalmente en el entorno de procesamiento de alimentos como conservantes (Kretli, 2016).

Métodos Alternativos de Bioconservacion en Productos Cárnicos

La conservación de alimentos, incluido el uso de la fermentación de materias primas perecederas, han sido utilizadas por el hombre desde el período neolítico, alrededor de 10.000 años antes de Cristo. La lógica científica detrás de la fermentación comenzó con la identificación de microorganismos en 1665 por Van Leeuwenhoek y Hooke (Gest, 2004). Pasteur revocó la "teoría de la generación espontánea" alrededor de 1859 mediante una experimentación altamente diseñada (Wyman, 1862, Farley y Geison, 1974). El papel de una única bacteria, "*Bacterium*" *lactis* (*Lactococcus lactis*), en la leche fermentada fue demostrado alrededor de 1877 por Sir John Lister (Santer, 2010). La fermentación, de la palabra latina *fervere*, fue definida por Louis Pasteur como vida sin aire. Desde un punto de vista bioquímico, la fermentación es un proceso metabólico de derivación de energía de compuestos orgánicos sin la participación de un agente oxidante exógeno. La fermentación juega diferentes papeles en el procesamiento de alimentos. Los principales roles considerados son: Conservación de alimentos a través de la formación de metabolitos inhibitorios como el ácido orgánico: ácido láctico, ácido acético, ácido fórmico, ácido propiónico, etanol, bacteriocinas, etc (Bourdichon et al., 2012).

Se considera que la conservación por bacterias acido lácticas y sus productos metabolitos se utiliza para limitar el crecimiento y desarrollo de microorganismos patógenos durante el

almacenamiento refrigerado y para extender la vida útil de los alimentos (Mateos Aparicio, 2017).

Proponer productos cárnicos funcionales puede ser una estrategia eficaz para promover la condición de salud y prevenir el riesgo de enfermedades (Ben et al., 2017), que pueden llegar a favorecer el tratamiento de varias enfermedades (disbiosis del microbioma), incluidas las infecciones entéricas y la restauración de la comunidad microbiana promotora de la salud (Anjana & Tiwari, 2022).

Los antimicrobianos naturales se han aplicado tradicionalmente para mejorar la inocuidad de los alimentos y brindar inocuidad Sin embargo, a medida que se desarrolla el conocimiento sobre el uso de las bacteriocinas como bioconservantes, surgen nuevas funciones más allá de la conservación de alimentos y un cambio hacia las aplicaciones en salud que están posicionando a las bacteriocinas como anti-infecciosos y moduladores del microbioma intestinal (Martínez et al., 2019).

Nuevas Fuentes de Bacteriocinas.

En biotecnología alimentaria, la investigación sobre bacteriocinas se ha centrado principalmente en aquellas producidas por bacterias del ácido láctico y sus aplicaciones como bio-preservadores alimentarios contra patógenos transmitidos y bacterias de deterioro de los alimentos. Estos esfuerzos se han justificado por la relevancia de este grupo de bacterias como cultivos iniciadores de alimentos, su larga historia de uso seguro en alimentos y su compatibilidad intrínseca con el procesamiento de alimentos. El uso de bacteriocinas o probióticos productores de bacteriocinas para modular el microbioma intestinal se está convirtiendo en un campo emocionante en la investigación de bacteriocinas. Varias enfermedades están asociada a una alteración del microbioma intestinal que se han

correlacionado con la salud y las enfermedades humanas. Las bacteriocinas, ya sea proporcionadas a través de alimentos funcionales / fortificados o por bacterias probióticas bacteriocinógenas, podrían aprovecharse para inducir cambios deseables en las poblaciones microbianas intestinales (Martínez et al., 2019).

Clasificación de las Bacteriocinas.

Las bacteriocinas producidas por las BAL son moléculas catiónicas con parches hidrófobos, y una efectividad que se debe principalmente a las interacciones electrostáticas con los fosfolípidos de las membranas celulares de las bacterias a través de la unión inicial. Entonces conduce a daños en la pared celular y por eso inhibe a las bacterias patógenas (Singh, 2018).

Debido a la resistencia generalizada de las biopelículas a los antibióticos, una vía alternativa para abordar este problema es aprovechar las bacteriocinas como antimicrobianos, ya sea de forma independiente o en combinación con antimicrobianos.

Las bacteriocinas como se ha mencionado anteriormente son péptidos antibacterianos sintetizados por el ribosoma de algunas bacterias ácido-lácticas y presentan un amplio potencial como conservadores para inhibir el crecimiento de microorganismo patógeno. Las bacteriocinas se clasifican en tres clases, que a continuación se describen:

Bacteriocinas Clase I

La primera clase de bacteriocinas son proteínas que se componen de 19 a 50 aminoácidos y se modifican luego de la síntesis ribosomal. También llamadas lantibióticos. La nisina es una bacteriocina de clase I más popular, y es producida por bacterias grampositivas como *Lactococcus lactis* y algunos *Streptococcus spp*. El mecanismo de acción de la nisina es la formación de poros y pérdida irremediable del potencial de la membrana. En resumen la nisina se une a moléculas diana (lípido II) que actúan como intermediario clave en la maquinaria de

biosíntesis de peptidoglicano de la pared celular y, por último, la síntesis de peptidoglicanos se ve obstaculizada. También los lantibióticos se insertan en la membrana celular a través de la orientación del lípido II como una molécula de acoplamiento y conducen a la formación de poros en la membrana celular seguida de la muerte celular (Ghapanvari et al., 2022). La nisina se utiliza como conservante de alimentos procesados y ha sido incluida en la categoría generalmente reconocida como segura por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) (Ghapanvari et al., 2022). Según Beristain-Bauza et al., (2012), reportan que los lantibióticos (bacteriocinas clase I) son péptidos pequeños conformados por 19-38 aminoácidos policíclicos, con un peso molecular menor a 5 kDa, con poca estabilidad al calor y son modificados pos-traduccionalmente (cambio químico ocurrido en las proteínas después de su síntesis proteica) por la deshidratación de la serina y la treonina formando aminoácidos como dehidroalanina (Dha) y dehidrobutirina (Dhb), estos residuos pueden unirse a través de un grupo triester a cadenas laterales de cisteina dando lugar a las lantioninas las cuales tienen efectos bactericidas (Zhang, 2019).

Lantibióticos Tipo A. Son péptidos elongados, se pueden subdividir en AI delgada, AII lineal y AII esférica. La Nisina es un representante típico de este tipo y es producida por algunas cepas de *Lactococcus lactis*. Este tipo presentan un peso molecular menor a 4 kDa, flexibles, con carga neta positiva, cuya actividad antimicrobiana se debe a la destrucción de la célula por la despolarización de la membrana citoplasmática (Zhang, 2019).

Lantibióticos Tipo B. Son péptidos globulares e hidrófobos, con un peso molecular entre 1,8 y 2,1 kDa. Presentan una carga neta negativa o sin carga. Su actividad antimicrobiana está relacionada principalmente con la inhibición enzimática de bacterias sensibles. La Mersacidina producida por *Bacillus subtilis* y la Cinamicina secretada por *Streptomyces cinnamomi* son los

representantes de los lantibióticos tipo B. La Mersacidina consiste en 20 aminoácidos con un peso molecular relativo de 1825 Da. Es el único Lantibiótico cuya estructura está determinada por rayos X. La Mersacidina inhibe principalmente las bacterias grampositivas, incluido el *Staphylococcus aureus* que es resistente a la penicilina; lo cual tiene un gran potencial en la industria farmaceutica (Zhang, 2019).

Bacteriocinas Clase II No Lantibióticos

Están conformados por bacteriocinas constituidas por 30 a 60 aminoácidos, con un peso molecular menor a 10 kDa, no contienen aminoácidos modificados y son estables al calor y al pH. Este grupo de bacteriocinas es considerado como el mayor subgrupo de bacteriocinas provenientes de las bacterias ácido-lácticas, no sólo por su gran número, sino también por su actividad antimicrobiana y aplicaciones potenciales. Se pueden dividir en tres subgrupos, clase IIa, clase IIb y clase IIc; como se describen a continuación (Zhang, 2019).

Clase IIa. Es la subclase de bacteriocina más grande y estudiada en segundas categorías. Reportan que todas las bacteriocinas de clase IIa tienen fuertes actividades anti-*Listeria y* algunas también pueden inhibir otras bacterias de deterioro en los alimentos, como *Bacillus, Staphylococcus, Clostridium* (Zhang, 2019). Se han encontrado más de 30 tipos de bacterias de ácido láctico (*Lactiplantibacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus, L sakei,* entre otros) que producen bacteriocinas reconocidas en esta categoría: Sakacin A, Pediocin PA-1/Ach, Carnobacteriocin X (Zhang, 2019).

Clase IIb. Es una bacteriocina formada por dos oligómeros peptídicos. La actividad completa requiere que dos péptidos interactúen entre sí, las bacteriocinas reconocidas son lactacina F, plantaricina S, plantaricina A, lactococcina C y lactococcina MN. Las bacteriocinas de clase IIb se subdividen en dos categorías, tipo sinérgico (tipo S) y tipo mejorado (tipo E). El

efecto antibacteriano de la bacteriocina de tipo S está formado por la interacción de dos péptidos. Por ejemplo lactococcina G producida por *Lactococcus lactis,* la lactacina F producida por *Lactobacillus johnsonii* y la lactacina 705 producida por *Lactobacillus casei*. El modo de acción es inhibir la absorción de aminoácidos, disipar el momento del protón y reducir los niveles de ATP intracelular. En el caso de la subdivisión tipo E los dos péptidos de las bacteriocinas tienen efectos antibacterianos. El efecto bacteriostático aumenta significativamente cuando los dos péptidos actúan juntos. Por ejemplo, Termofilina 13 producida por *Streptococcus thermophilus*, enterocina L50 producido por *Enterococcus faecium*, y ABP-118 producidos por *Lactobacillus saliva* (Zhang, 2019).

Bacteriocinas Clase III Termolábiles

Este grupo es denominado “bacteriolisinas”, incluye péptidos con un peso molecular mayor a 30 kDa y son lábiles al calor (se inactivan al calentar a 100 ºC/30 minutos). Su mecanismo de acción se realiza a través de la catálisis e hidrólisis de la pared celular de las células sensibles, las bacteriolisinas más representativas son la helveticina J producida por *Lactobacillus helveticus* y la enterocina producida por *Enterococcus faecium*. La propionicina SM1 producida por *Propionibacterium acnes* es resistente al calor, con 207 aminoácidos (masa molecular, 22'865 Da) y tiene efecto bacteriostático contra la *Listeria monocytogenes* (Zhang, 2019).

Metodología

La metodología que se desarrolló en esta vigilancia tecnológica consistió en: ipo de estudio, identificación de artículos, tamización; elección e inclusión de estudios, recolección de la información y análisis de la información.

Tipo de Estudio

Revisión sistemática de la literatura.

Identificación, Tamización, Elección e Inclusión de Estudios

Se realizó una revisión bibliográfica a partir de artículos originales publicados en las bases de datos Science Direct, Scopus, y web of sciencie, se realiza una búsqueda empleando los siguientes términos: bacteriocinas, carnes, microorganismos, bacterias ácido lácticas, al igual que bacteriocinas con: microorganismos patógenos: *Lactobacillus, Pediococcus, Lactococcus Listeria monocyotegenes, Escherichia coli 0157:H7, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Pseudomonas spp, Brochothrix thermosphacta. Salmonella spp, Clostridium perfringers, Campylobacter*.

Se tomaron criterios de inclusión: 1) artículos con términos de búsqueda en el título y/o resumen; 2) publicados entre 2011- 2022; 3) artículos de investigación; 4) idioma inglés 5) con reporte de bacteriocinas inhibidoras de microorganismos patógenos o deteriorantes en carnes 6) con reporte del modo de acción de las bacteriocinas para inhibir microorganismos patógenos o deteriorantes en matrices cárnicas en la industria cárnica.

Los criterios de exclusión: 1) estudios que no contribuyan al objetivo 1 de esta revisión al no hacer explícitos el efecto de las bacteriocinas producidas por bacterias acido-lácticas para inhibir microorganismos patógenos o deteriorantes, 2) estudios que no contribuyan al objetivo 2

de esta revisión al no hacer explícitos el modo de acción de las bacteriocinas para inhibir microorganismos patógenos o deteriorantes.

Se seleccionaron los artículos que relacionan a las bacteriocinas como inhibidoras de patógenos en matrices cárnicas o describen su modo de acción, leyendo el título y los resúmenes de la búsqueda con la ecuación "*bacteriocinas, carnes y Lactobacillus*" por ser la estrategia por mayor número de artículos encontrados.

Recolección de la Información

Se utilizó el software EndNote para la organización bibliográfica.

La aplicación del procedimiento de investigación se llevó a cabo en fechas diferentes para garantizar la reproducibilidad de la revisión. La extracción de la información se realizó con base en una tabla que tiene como encabezados: número del artículo en la base de datos, revisión fecha1, revisión fecha2, se registra el criterio de evaluación del investigador (cumple el objetivo 1, cumple el objetivo 1 y 2, y no cumple los objetivos), para elegir los estudios.

Elección de Artículos que Cumplieron los Objetivos Específicos

Los artículos de investigación que cumplieron los objetivos específicos se leen en su totalidad para filtrar aquellos específicos en matrices cárnicas. Estos se describen en una tabla que contiene tipo de bacteriocina, matriz cárnica, y microorganismo patógeno o deteriorantes que inhibe.

Análisis de la Información

Para evaluar la concordancia, se calculó el coeficiente kappa para las siguientes variables: 1) número de artículos incluidos considerando la base de datos 2) criterio de evaluación del investigador (cumple el objetivo 1, cumple el objetivo 1 y 2, y no cumple los objetivos).

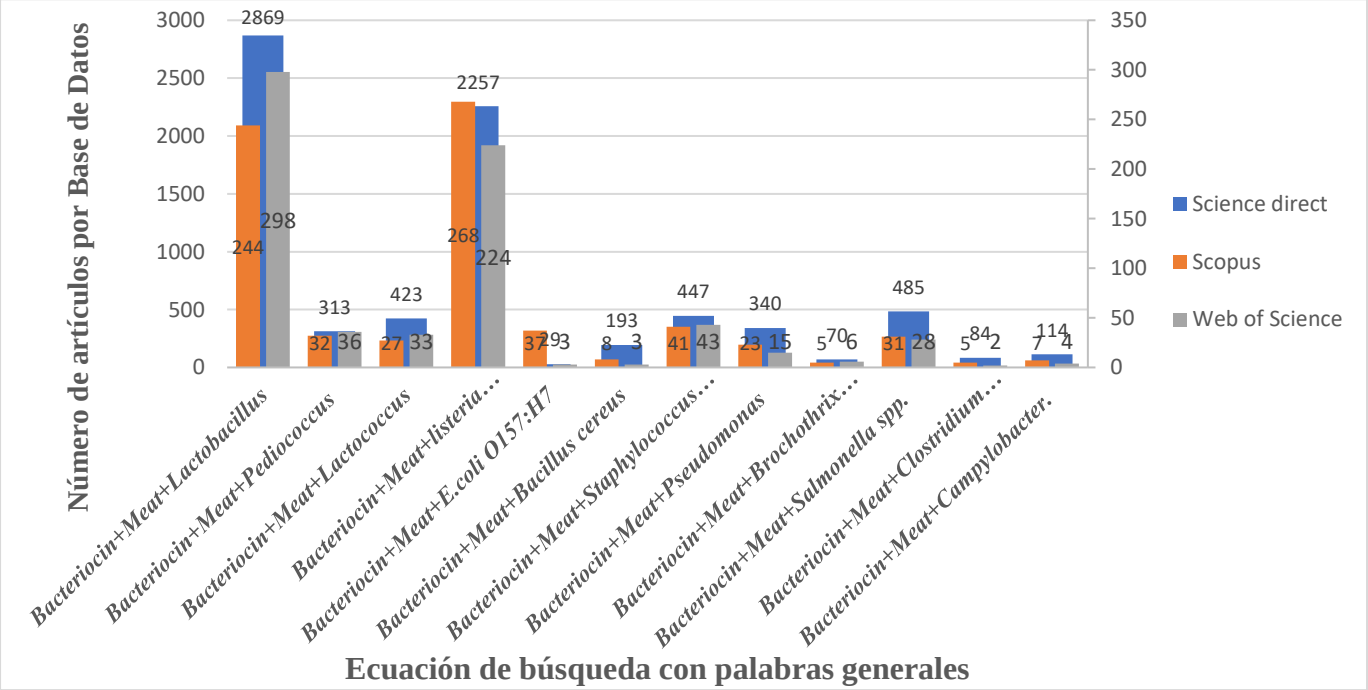
Resultados y Análisis de Resultados

Análisis de la Búsqueda de Artículos con las Palabras Generales

En la figura 2 se presentan los resultados de las ecuaciones de búsqueda con palabras generales en diferentes bases datos obteniendo un total de 9.047 artículos donde se evidenció que las ecuaciones de búsqueda que emplearon términos como *Bacteriocinas*, Carnes, *Lactobacillus*, y *Listeria monocytogenes*, presentaron el mayor número de artículos encontrados, donde se seleccionó que los motores de búsqueda Science Direct seguido de Scopus y web of sciencie fueron las herramientas principales para la búsqueda de artículos científicos.

Figura 3

Resultados búsqueda con palabras generales



Fuente. Elaboración propia

Análisis de Búsqueda de Artículos con las Palabras Claves

Con las palabras claves las ecuaciones de búsqueda empleadas fueron: *"Bacteriocins AND Meat AND Lactobacillus" y "Bacteriocins AND Meat AND Listeria monocytogenes."* Estas

ecuaciones de búsqueda se utilizaron en las tres bases de datos citadas (Science direct, Scopus, y Web of science). En la tabla 1 se presentan los criterios de inclusión y exclusión, donde se observó que para el año 2011 al 2022 la base de datos Science direct fue el motor de búsqueda que más publicaron por ejemplo 1.604 artículos en ingles referentes a *Lactobacillus* y 1.293 para *Listeria monocyotegenes*, sin embargo, al seleccionar artículos originales de investigación se encontraron 759 para *Lactobacillus* y 623 para *Listeria monocyotegenes.*

Los resultados generados por las revisiones de los artículos obtenidos en la ecuación de búsqueda "Bacteriocins AND Meat AND Lactobacillus"; de las tres bases de datos citadas se llevaron a unas hojas de Excel como se describen en los apéndices A y B; estos resultados se insertaron en tablas dinámicas del programa Excel, para el cálculo del coeficiente de kappa de los artículos revisados para ver la concordancia de las dos fechas utilizadas en la revisión, los resultados del coeficiente de kappa registraron valores mayores que 0,92; evidenciándose una concordancia es casi perfecta para las dos fechas utilizadas por la revisión

Tabla 1

Resultados utilizando las palabras claves con criterios de inclusión y exclusión

Búsqueda: Bacteriocins AND Meat	Criterios	Bases de datos			Total
		Science direct	Scopus	Web sciencie	
Lactobacillus	Sin límites	2.869	244	298	3.411
	2011-2022	1.604	114	138	1.856
	Inglés	1.604	114	135	1.853
	Artículo de investigación	759	96	126	*981*
Listeria monocyotegenes	Sin límites	2.257	268	224	2.749
	2011-2022	1.293	110	115	1.518
	Inglés	1.293	109	114	1.516
	Artículo de investigación	623	96	90	809

Fuente. Elaboración propia

Análisis de la Tamización, Elección e Inclusión de Estudios

Posterior, se realizó una tamización y elección de estudios mediante el criterio de inclusión cumplimiento de los objetivos, se escogieron los artículos de investigación generados con las tres bases de datos empleando la siguiente ecuación de búsqueda *"*Bacteriocins AND Meat AND *Lactobacillus",* con el fin de contar con un mayor número de artículos encontrados. Los resultados de la elección están descritos en el apéndice A y B, y se resumen en la tabla 2. Los artículos que usaron las bacteriocinas como inhibidoras de microorganismos patógenos fueron 111, y los artículos que describieron el modo de acción de las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes fueron 27, mientras 843 estudios no cumplieron ninguno de los objetivos.

Tabla 2

Tamización de artículos aplicando criterios objetivos específicos

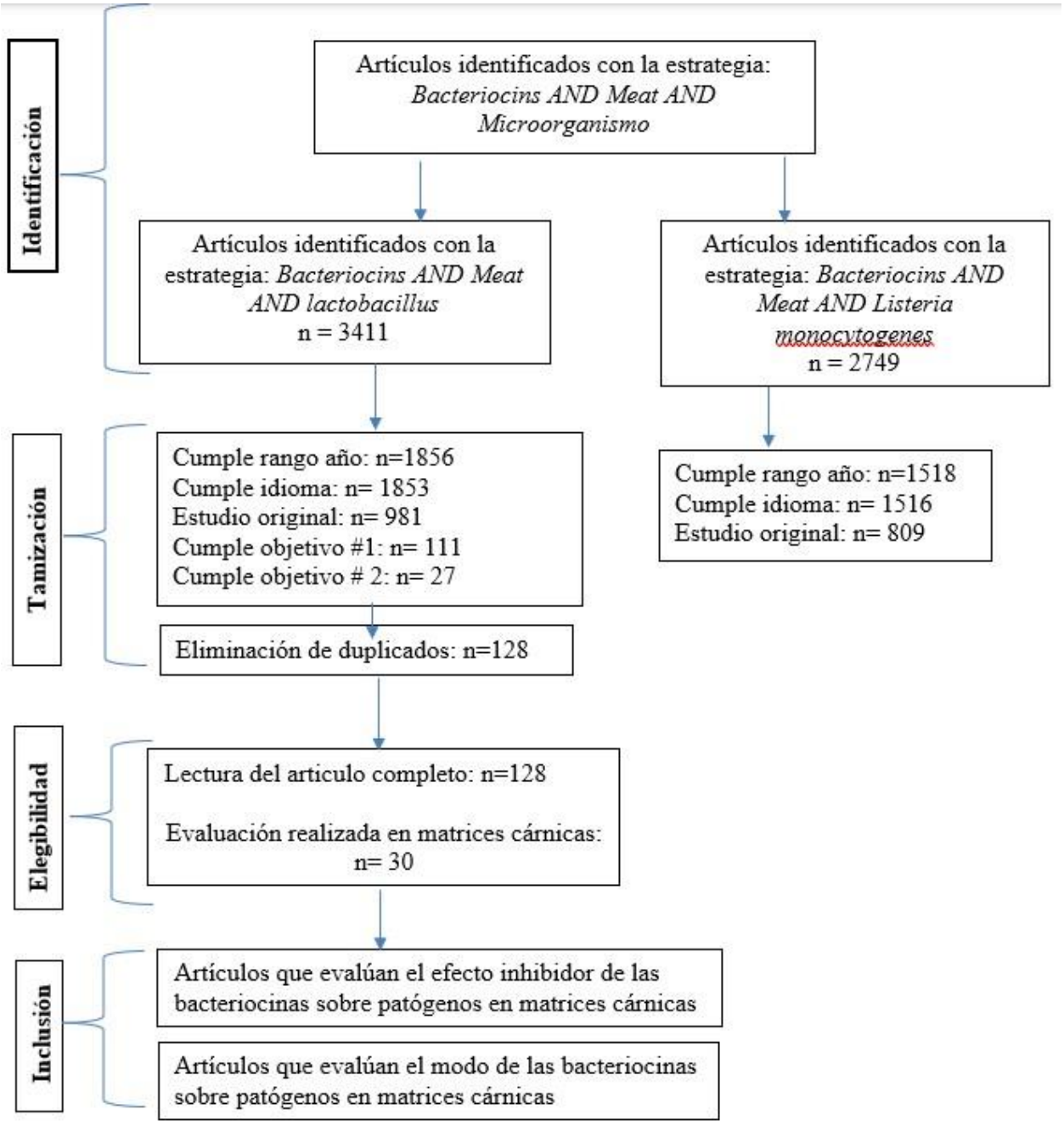
Búsqueda: Bacteriocinas AND Carnes	Criterios	Bases de datos			Total
		Science direct	Scopus	Web sciencie	
Lactobacillus	Cumplimiento de objetivos1	25	49	37	111
	Cumplimiento de objetivos 2	13	6	8	27
	No cumplimiento	721	41	81	843

Fuente. Elaboración propia Total: 138 Sin duplicado: 128

Se concluye que en la búsqueda inicial se obtuvo un total de 9047 artículos según la figura 3, los cuales se redujeron a 128 a partir de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión según la tabla 2. Finalmente, en la figura 4 se presenta el algoritmo de selección de los artículos incluidos para la síntesis cualitativa del actual estudio, encontrando 30 artículos sobre matrices cárnicas y que aplicaron los dos criterios de inclusión.

Figura 4

Algoritmo de selección de los artículos



Fuente. Elaboración propia

Análisis de Información de Bacteriocinas que han Abordado Inhibición de Microorganismos Patógenos y Describen su Modo de Acción.

En la tabla 3 se presentan los resultados de los principales artículos de investigación de bacteriocinas que han abordado la inhibición por microorganismos patógenos y describen su modo de acción.

Tabla 3

Descripción de los principales estudios de bacteriocinas que han abordado la inhibición de microorganismos patógenos y describen su modo de acción

Referencia	Tipo de Bacteriocina	Alimento	Espectro inhibitorio
(Abrams et al., 2011)	Pediocina PPK34	Embutido	*L. monocytogenes y Enterococcus faecalis*
(Lu et al., 2020)	BM1300	Carne de res	*S. aureus y E. coli*
(DeAzevedo et al., 2017)	bacteriocina (BLIS) Nisina	Jamón de Cerdo	*Listeria monocytogenes*
(Favaro & Todorov, 2017)	Nisina Sakacin P	Productos cárnicos	*Listeria monocytogenes*
(Corbalán et al., 2021)	Microcina J25(MccJ25)	Hamburguesas de pescado y ternera	*Salmonella, Escherichia coli*
(Balciunas et al., 2013)	Nisina	Alimentos en general	*Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus,*
(Castellano et al., 2008)	lactocina 705	Carne de res	*Listeria monocytogenes Escherichia coli*
(Barcenilla et al., 2022)	Bacteriocina clase I	Carne molida	*Listeria monocytogenes*
(Yan et al., 2021)	Bacteriocina BM182	Carne de res	*E. coli y Staphylococcus aureus*
(Hugo & Hugo, 2015)	La lacticina	Carne fresca envasada al vacío	*Listeria monocytogenes*
(Skariyachan & Govindarajan, 2019)	Bacteriocina clase I	Alimentos en general	*E. coli y Shigella*
(O'Connor et al., 2020)	Bacteriocina clase I y II	Alimentos en general	Bacterias gran positivas
(Smaoui et al., 2014)	BacTN635	Carne molida	*Salmonella, Listeria monocytogenes*

Referencia	Tipo de Bacteriocina	Alimento	Espectro inhibitorio
(Woraprayote et al., 2016)	GarQ y Bac7293A Bacteriocina clase II	Carne y productos cárnicos	*Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus, Salmonella Typhimurium, Escherichia coli*
(Rivas et al., 2014)	Sakacin Q	Carne cocida	*Listeria monocytogenes*
(Messaoudi et al., 2012)	salivaricina SMXD51	Pollo	*Campylobacter jejuni*
(Seo & Kang, 2020)	Bacteriocina clase I	Pollo y superficie de contacto	*Salmonella Typhimurium*
(Lee et al., 2021)	Bacteriocina (BLIS)	Pollo y superficie de contacto	
(Turgis et al., 2012)	Bacteriocinas + aceite esencias	Carne	*Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Salmonella typhimurium y Staphylococcus aureus*
(Montiel et al., 2014)	Reuterina	Salmon ahumado	*Listeria monocytogenes*
(Gao et al., 2011)	Sakacin C2	Industria alimentaria	*Escherichia coli*
(de Alba et al., 2013)	Nisina	Jamón curado	*E. coli O157:H7*
(Sarika et al., 2012)	Bacteriocina PSY2	Filete de bacalao	*Escherichia coli*
(Moon et al., 2011)	Nisina	Salchichas	*Listeria monocytogenes*
(Thanjavur et al., 2022)	Nisina	Alimento funcional (antibacteriano y anticancerígeno)	*E. coli y Staphylococcus aureus. Pseudomonas*
(Arrieta et al., 2019)	Nisina	Carne de res molida	*Escherichia coli*
(Cárdenas et al., 2013)	Nisina	Carne de res molida	*Escherichia coli*
(Winkelströter et al., 2011)	sakacina 1	Acero inoxidable industria cárnica	*Listeria monocytogenes*
(Smaoui et al., 2016)	BacTN635	Carne res y pollo	*Enterobacterias*
(Chakchouk-mtibaa et al., 2017)	BacFL31	Carne res	*Listeria monocytogenes Salmonella Typhi*

Fuente. Elaboración propia

Análisis de Estudios de Bacteriocinas que Inhiben Microorganismos Patógenos

Los resultados de la búsqueda bibliográfica se presentaron en la tabla 3 donde se evidencian que los agentes más comunes causales de deterioro de la carne y de ETA son: *Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus, Escherichia coli y Salmonella* (Favaro & Todorov, 2017; Balciunas et al., 2013; Montiel et al., 2014; Turgis et al., 2012).

Se evidenció que existen diferentes bacteriocinas que pueden inhibir microrganismos patógenos en carnes y productos cárnicos. Encontrando que la nisina es la bacteriocina que más se reporta en los estudios debido a que inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos potenciales en los alimentos como la *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus.* De hecho, se considera que está bacteriocina es reconocida debido a sus características fisicoquímicas que la hacen resistente a diferentes procesos y cambios en la trasformación de alimentos (Agudelo Londoño, 2014).

Según la frecuencia de los estudios revisados en la tabla 3, se encuentra en mayor frecuencia la inhibición de la *Listeria monocytogenes* por diferentes bacteriocinas estudiadas como: Pediocina PPK34, BM1300, bacteriocina (BLIS), nisina, Sakacin P, lactocina 705, bacteriocina clase I, La lacticina, GarQ y Bac7293A, entre otras (Favaro & Todorov, 2017; Balciunas et al., 2013; Montiel et al., 2014; Turgis et al., 2012). Resaltando que este patógeno es un contaminante del medio ambiente, importante en los lugares de procesos de alimentos, y se caracteriza porque es difícil de controlar su crecimiento dadas sus características psicrotolerantes de poder crecer en ambientes refrigerados y concentraciones altas en sal por parte de la mayoría de las cepas (Winkelströter et al., 2011).

En otro estudio evaluaron la inhibición de *Escherichia coli* en filetes de bacalao al estudiar la eficacia biopreservadora de la bacteriocina PSY2 en filetes de bacalaos (10 g), los

cuales se rociaron con 2,0 ml de bacteriocina de 1.600 UA/ml, se envolvieron y se mantuvieron a diferentes temperaturas de almacenamiento: 4°C, 0°C y -18 °C. Encontraron que la bacteriocina extendió la vida útil de los filetes almacenados a 4 °C por más de 21 días en comparación con los días observados en las muestras no tratadas que fueron menores de 14 días. El recuento total de bacterias de deterioro se redujo en 2,5 unidades logarítmicas en la muestra tratada durante el día 14 de almacenamiento en comparación con la muestra control (Sarika et al., 2012).

Según los resultados de esta revisión las bacteriocinas producidas por las bacterias acido láctica como la nisina, en donde evidenció un efecto antimicrobiano contra *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* con perfiles diferentes de inhibición. Los mecanismos se basan en la formación de poros en la membrana citoplásmatica de células sensibles al ataque de bacteriocinas producidas por BAL. La estructura de estos péptidos, forman dos caras, una hidrofílica y otra hidrofóbica, creando oligómeros que atravesarían la membrana formando poros, en los que el lado apolar de la molécula se situaría próxima a los lípidos de la membrana y el lado polar miraría al centro del poro. Como consecuencia se observa, en general, una pérdida de iones K, ATP y, en algunos casos, aminoácidos y moléculas pequeñas. La pérdida de estas sustancias origina a su vez una pérdida del potencial de membrana, consumo de las reservas energéticas celulares, descenso en la síntesis de ADN, ARN y proteínas, originando finalmente la muerte celular (Fernández Villa et al., 2014).

En los estudios que evaluaron la inhibición de biopelículas producidas por *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella spp*, emplearon matrices cárnicas y derivados principalmente pollo, tanto de superficies bióticas y abióticas (equipos que hacen contacto con el pollo). Las *salmonellas* son patógenas que viven en el intestino del hombre y animales. También se ha evidenciado en las pieles de bovinos. En la mayoría de los brotes la infección que se

presenta es la gastroenteritis, con síntomas de 6 a 48 horas después de la ingestión de alimentos principalmente de origen avícola. La inhibición de las biopelículas producidas por *Staphylococcus aureus* se detiene su crecimiento y causa la muerte por las propiedades antibacterianas de la nisina este daño en la membrana celular se debe a la reducción del potencial de membrana y la inactivación enzimática (Brashears & Chaves, 2017), (CDC, 2018).

En el estudio de Seo & Kang, (2020), investigaron bacteriocinas purificadas de las cepas *Pediococcus acidilactici* K10 (bacteriocina K10) y HW01 (bacteriocina HW01). En la tabla 4 y 5 se logró observar el modo de acción de las bacteriocinas sobre los microorganismos patógenos.

Tabla 4

Efecto de las bacteriocinas K10 y HW01 en la formación de biopelícula de S. Typhimurium después de 24 h-cultivo

	Formación de biofilm (%)			
	Control	12.5% bacteriocina	25% bacteriocina	50% bacteriocina
Bacteriocina K10	100,00 ± 10,72	45,14 ± 0,95	33,12 ± 2.73	31,11 ± 4,02
Bacteriocina HW01	100,00 ± 7,14	41,29 ± 2,75	37,97 ± 2,71	38,56 ± 2,72

Fuente. *Seo & Kang, 2020*

Tabla 5

Efecto de las bacteriocinas K10 y HW01 en la formación de biopelículas de S. Typhimurium en diferentes puntos temporales

	Formación de biofilm (%)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
Control	100,00 ± 14,79	100,00 ± 3,72	100,00 ± 3,87	100,00 ± 2,35	100,00 ± 4,48
Bacteriocin K10	62,92 ± 9,31	4454 ± 12,61	21,36 ± 1,31	23,63 ± 4,29	37,24 ± 4,20
Control	100,00 ± 4,96	100,00 ± 0,70	100,00 ± 6,39	100,00 ± 10,85	100,00 ± 3,36
Bacteriocin HW01	53,85 ± 16,84	41,43 ± 4,41	63,05 ± 7,71	41,89 ± 1,42	47,14 ± 3,91

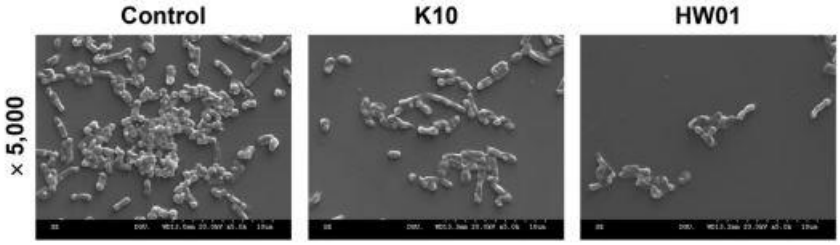
Fuente. Seo & Kang, 2020

En la tabla 4, se observó una reducción significa de la formación de la biopelícula de *S. Typhimurium* en un 55% por la presencia de la bacteriocina K10 al 12,5% y en un 70% de inhibición en presencia de concentraciones más altas de bacteriocina K10 (25 y 50%). Sin embargo, la formación de biopelículas de *S. Typhimurium* se redujo significativamente en un 60% en presencia de la bacteriocina HW01 de 12,5, 25 y 50%. En la tabla 5, se muestra los resultados tanto la bacteriocina K10 como la bacteriocina HW01 observando una reducción significativa de la biopelícula de *S.Typhimurium* desde el momento de la incubación para la bacteriocina K10.

En la figura 5, observaron que los análisis de fluorescencia y microscopía confirmaron la reducción de biopelicula en superficies bióticas (carne de pollo) y abióticas (acero inoxidable). Las biopelículas son responsables de la contaminación en los entornos de procesamiento de alimentos, así como de ETA. Además, también se inhibió el crecimiento de las células planctónicas de *Salmonella Typhimuriom* mediante el tratamiento con bacteriocina K10 a las 24 horas y mediante el tratamiento con bacteriocina HW01 a las 12 y 24 (Seo & Kang, 2020).

Figura 5

Imágenes del efecto inhibitorio de las bacteriocinas K10 y HW01 sobre la formación de biofilm de S. Typhimurium mediante el análisis con microscopía electrónica.



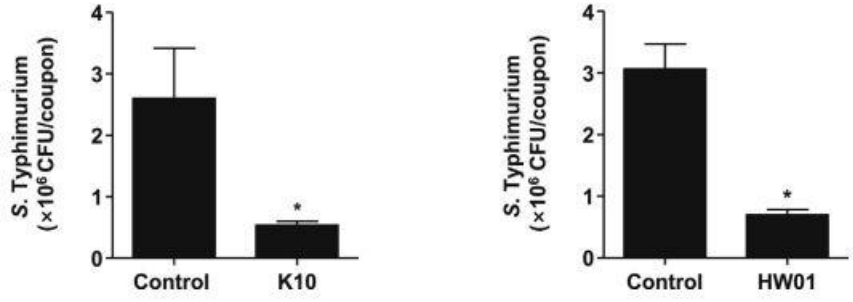
Fuente Seo & Kang, 2020

En la figura 6 muestran que se detectaron aproximadamente 3,5 log UFC/ml (3162 UFC/ml) de *S. Typhimurium* en ausencia de bacteriocina K10, mientras que 2,0 log UFC/ml (100

UFC/ml) de *S. Typhimurium* en presencia de bacteriocina K10, lo que indica que la bacteriocina K10 atenuó significativamente la viabilidad de las células planctónicas de *S. Typhimurium* para la incubación de 24 horas (1,5 log o 31,6 de disminución). Del mismo modo, la bacteriocina HW01 (Seo & Kang, 2020).

Figura 6

Efecto anti-biofilm sobre la formación biofilm de S. Typhimurium por bacteriocina



Fuente Seo & Kang, 2020

Los anteriores resultados de la tabla 4, tabla 5, y figuras 5 y 6 demuestran el efecto las bacteriocinas en la inhibición de biopelículas de *Salmonella Typhimurium,* en superficies bióticas (carne de pollo) y abióticas (acero inoxidable) en la industria cárnica. También se demuestra que las bacteriocinas reducen el crecimiento de las células planctónicas de *S.Typhimurium.*

Modo de Acción de las Bacteriocinas Sobre Microorganismos Patógenos y Deteriorantes

El mecanismo antimicrobiano de las bacteriocinas es crear múltiples poros en las membranas celulares de los microorganismos para llevar a su muerte celular. Sin embargo, algunas bacteriocinas producidas por las bacterias Gram positivas como la nisina (clase I) presentan algunas características tales unirse al lípido II que es el responsable del transporte de subunidades de peptidoglicano a la pared celular (Kretli, 2016). Este bloqueo resulta una síntesis alterada de la pared celular y el comienzo de la formación de poros, que conduce a la muerte celular rápida. En la bacteriocina Ent53C (clase IIa) el fuerte efecto se puede explicar por los dos

puentes disulfuro que contiene. Los estudios generalmente correlacionan el número de puentes disulfuro con la intensidad de su actividad antimicrobiana; por el enlace disulfuro adicional presente en la mitad C-terminal (Kretli, 2016).

Se ha determinado que las bacteriocinas demuestran alta actividad bactericida que se relaciona principalmente con el contenido de cisteína, debido a la unión al tiol establecida entre los residuos de cisteína tienen un papel biológico similar al de la activación de los radicales tiol de toxinas producidas por bacterias gramnegativas, y de acuerdo con ello, se establecen los tres espectros de acción: Espectro inhibitorio estrecho (inhiben bacterias de la misma especie), Espectro inhibitorio intermedio bacterias (inhiben Grampositivas y patógenos presentes en alimentos), y las de amplio espectro de inhibición. La mayoría de las investigaciones han demostrado que la actividad bactericida de las bacteriocinas se dirige principalmente contra bacterias Grampositivas. Sin embargo, existen numerosas bacteriocinas que presentan un amplio espectro de acción, inhibiendo especie Gramnegativa (Beristain-Bauza et al., 2012).

Según el estudio de Corbalán et al., (2021), en la actividad antimicrobiana de la bacteriocina MccJ25 (G12Y) en carne molida se encontró lo siguiente, la carne y los productos cárnicos son sensibles al deterioro microbiano debido a sus componentes (aw, pH y nutrientes). La *E. coli* es una de las principales causas de ETA en todo el mundo. La OMS estimó que la infección por *E. coli* causó más de 1 millón de enfermedades y 100 muertes en el año 2010. Los alimentos de origen bovino, en particular la carne molida, y los derivados cárnicos son reconocidos como vehículos de transmisión eficiente de la infección por *E. coli O157:H7*. La contaminación de las canales durante el sacrificio es la ruta principal que conduce a la contaminación de la carne. La infección humana que conduce a la enfermedad está relacionada con la ingestión de productos de carne de res contaminados principalmente debido a prácticas

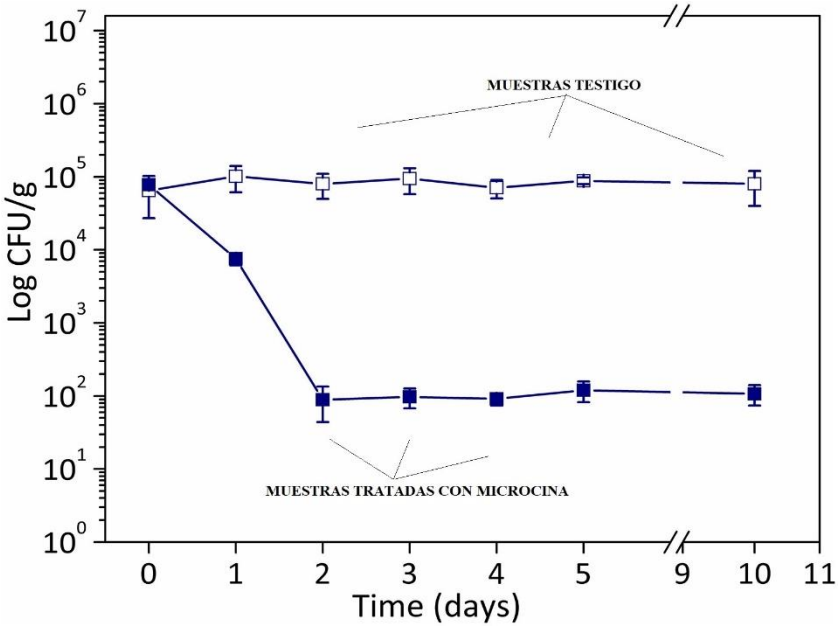
inadecuadas que permiten la supervivencia del patógeno, como la mala manipulación de los alimentos, procedimientos de almacenamiento inadecuados y la carne poco cocida. En Argentina, se encontró evidencia de infección por *E. coli* en el 59% de los casos de síndrome urémico hemolítico siendo *E. coli O157:H7* el serotipo predominante.

Con los datos citados anteriormente, se evaluó el modo de acción y potencial de MccJ25(G12Y) para eliminar o reducir la contaminación bacteriana por *E. coli O157:H7* en la carne molida. Para estos ensayos, las muestras de hamburguesas de carne de res se inocularon con *E. coli O157: H7* y se trataron o no con el péptido a una concentración final de 63 μg / g. A continuación, se evaluó el efecto antimicrobiano a 4 °C durante 10 días.

En la figura 7 se observó una fuerte disminución en la viabilidad de *E. coli O157: H7* en 3 log UFC/g en muestras tratadas con microcina en un plazo de 72 h. Después de este punto, el recuento en log UFC/g se mantuvo constante en el resto del tiempo de almacenamiento. Este efecto pudo haber resultado por disminución en la biodisponibilidad causada por la asociación con ciertos componentes de la matriz alimentaria en la población de bacterias.

Figura 7

Actividad antimicrobiana de MccJ25(G12Y) en carne molida



Fuente Corbalán et al., 2021

En un estudio de “Efecto antimicrobiano combinado de aceites esenciales y bacteriocinas contra patógenos transmitidos por los alimentos y bacterias de deterioro de los alimentos” (Turgis et al., 2012) . Los aceites esenciales (OE) y las bacteriocinas tienen un gran potencial como combinaciones antimicrobianas. Dado que generalmente se requieren concentraciones altas de OE para garantizar su actividad antimicrobiana para la conservación de alimentos en comparación con el sistema in vitro, su aplicación puede ser limitada debido a cambios en la calidad organoléptica y textural de los alimentos o las interacciones de las OE con los componentes de los alimentos. Las carnes frías a menudo están contaminadas por patógenos alimentarios. Las técnicas actuales utilizan aditivos sintéticos para garantizar la inocuidad alimentaria. Dado que la seguridad de los aditivos sintéticos ha sido cuestionada en los últimos años, y que los consumidores exigen cada vez más el uso de productos naturales y otros conservantes en los alimentos, el uso combinado de EO y bacteriocina parece ser una alternativa

natural viable. Por otra parte, las OE y las bacteriocinas son conocidas como buenos agentes para eliminar patógenos en los productos alimenticios. Sus efectos combinados fueron poco estudiados hasta la fecha. A partir de la tabla 6 y tabla 7, se pueden observar algunos efectos sinérgicos relacionados con las OE y la pediocina o nisina (FIC ≤ 0,5). Estos efectos sinérgicos actuaron sobre diferentes bacterias patógenas de los alimentos. De hecho, el índice FIC fue sinérgico para *S. montagna* EO/pediocina frente a *E. coli O157:H7*, para *Origanum vulgaris* EO/nisina frente a *L. monocytogenes* y para *T. vulgaris* EO/nisina frente a *S. typhimurium*. En comparación, también se observaron numerosos índices de indiferencia (1 < FIC < 4) en combinaciones probadas, mientras que se encontraron algunos efectos aditivos y antagonistas. Como resultado, la combinación eficiente de *S. montagna* EO y / Pediocin, *Origanum vulgaris* EO y / nisin y T. vulgaris EO y / nisin puede convertirse en una formulación antimicrobiana prometedora contra bacterias patógenas de alimentos y cada una podría estar relacionada para inhibir una bacteria específica como *E. coli O157: H7*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium*, respectivamente, que representan como principales problemas de contaminación en la industria alimentaria. Estas combinaciones podrían usarse en alimentos listos para comer en la charcutería, en carnes condimentadas que generalmente están contaminadas por estas tres bacterias.

Tabla 6

Actividad inhibitoria de pediocina en combinación con aceites esenciales

Bacterias	*Cinnamomum cassia* +pediocin	*Cymbopogon nardus* + pediocin	*Brassicahirta* + pediocin	*Origanum vulgare* pediocin	*Thymus vulgaris* + pediocin	*Satureja montagna* + pediocin
	Actividad					
Bacillus cereus	A	I	A	A	I	AD
Escherichia coli O157:H7	A	I	A	A	I	S
Listeria monocytogenes HPB 2812	I	I	I	AD	I	I
Pseudomonas putida V376	AD	I	A	I	I	I
Salmonella typhimurium SL 1344	I	I	A	I	I	I
Staphylococcus aureus ATCC 2913	I	I	A	I	I	I

Efecto sinérgico (S); Efecto aditivo (AD); Sin efecto interactivo (I); Efecto antagónico (A).

Fuente. Turgis et al., 2012

Tabla 7

Índices de concentración inhibitoria fraccional (FIC) de nisina en combinación con aceites esenciales

Bacterias	*Cinnamomum cassia* + Nisina		*Cymbopogon nardus* + Nisina		*Brassicahirta* + Nisina		*Origanum vulgare* Nisina		*Thymus vulgaris* + Nisina		*Satureja montagna* + Nisina	
	FIC	actividad	FIC	actividad	FIC	actividad	FIC	actividad	FIC	actividad	FIC	actividad
Bacillus cereus	8,0	A	2,0	I	3,1	I	9,0	A	0,9	AD	2,0	I
Escherichia coli O157:H7	1,7	I	2,0	I	2,0	I	1,1	I	1,1	I	0,7	AD
Listeria monocytogenes HPB 2812	0,9	AD	1,0	I	1,0	I	0,2	S	0,8	AD	0,8	AD
Pseudomonas putida V376	0,8	AD	2,0	I	2,0	I	2,0	I	6,3	A	2,0	I
Salmonella typhimurium SL 1344	2,5	I	1,0	I	1,5	I	1,0	I	0,2	S	2,0	I
Staphylococcus aureus ATCC 2913	0.5	A	2.0	I	0.8	AD	2.0	I	3.7	I	2,0	I

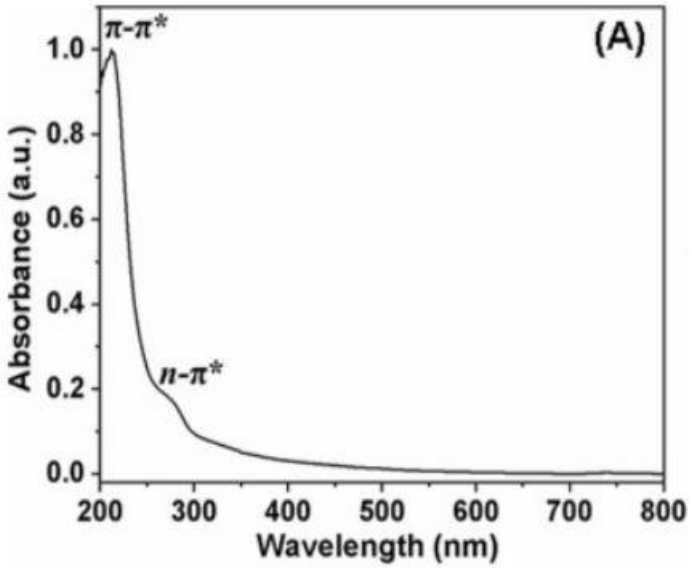
FIC ≤ 0.5: Efecto sinérgico (S); 0.5 < FIC ≤ 1: Efecto aditivo (AD); 1 < FIC ≤ 4: Sin efecto de interacion (I); FIC > 4: Efecto antagónico (A)

Fuente. Turgis et al., 2012

Según el estudio “Evaluación de las propiedades antimicrobiana de la nisina” (Thanjavur et al., 2022). Se muestra los datos del espectro UV-vis en la figura 8, y se observaron dos picos de absorción de UV-vis a 220 y 295 nm, que son responsables de las transiciones electrónicas π-π* y n-π* de partes funcionales orgánicas cruciales que están presentes en la nisina.

Figura 8

Espectro UV-vis de nisina pura que se utiliza para la identificación de grupos funcionales orgánicos.



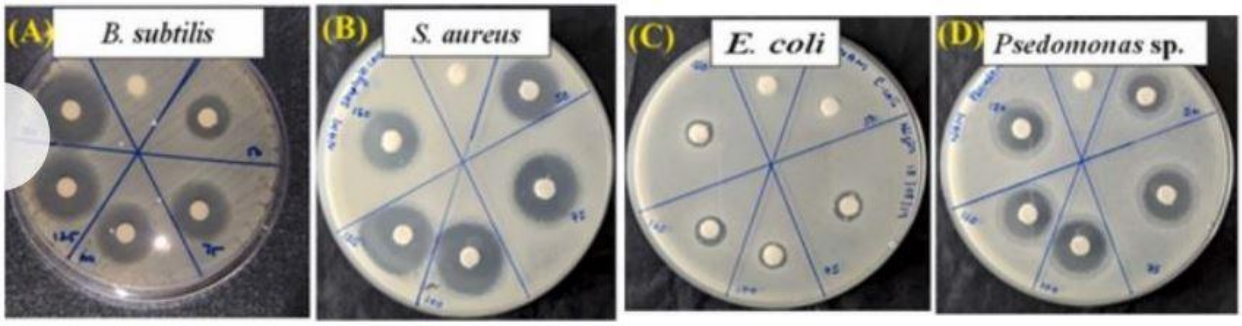
Fuente Thanjavur et al., 2022

Las propiedades antibacterianas de la nisina aislada contra las especies Grampositivas de *B. subtilis, S. aureus,* Gramnegativa *E. coli y P. aeruginosa* se examinaron utilizando el método de difusión de disco, como se muestra en la Figura 9 y Figura 10. En este estudio, se observaron zonas considerables de inhibición en *B. subtilis, S. aureus y P. aeruginosa*, aunque *E. coli* tuvo una zona de inhibición mucho menos intensa. Las bacterias Gram positivas tienen una membrana plasmática rígida que permite un daño químico más simple de establecer, mientras que las Gramnegativas tienen una membrana flexible que hace que el daño sea difícil de

establecer en las mismas condiciones. Sin embargo, frente a la nisina a una concentración de 150 µg/ml, la mayor zona de inhibición se observó en *B. subtilis y S. aureus*, respectivamente con 5,1 mm y 4,5 mm.

Figura 9

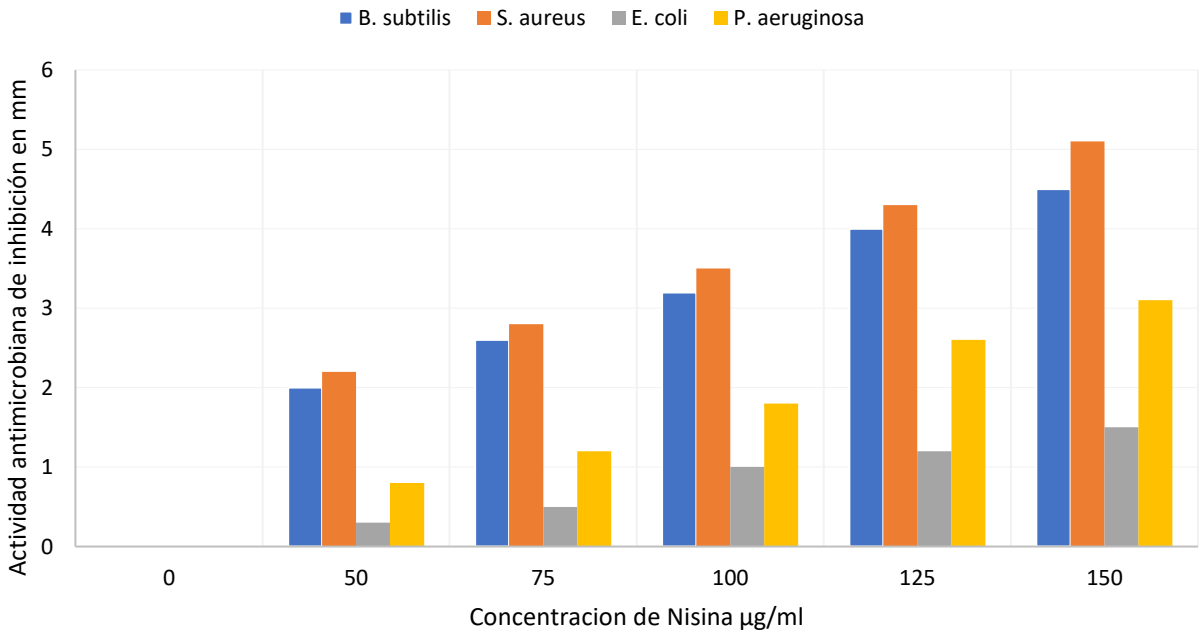
Inhibición de crecimiento de patógenos por parte de la Nisina



Fuente Thanjavur et al., 2022

Figura 10

Actividad antimicrobiana de la Nisina

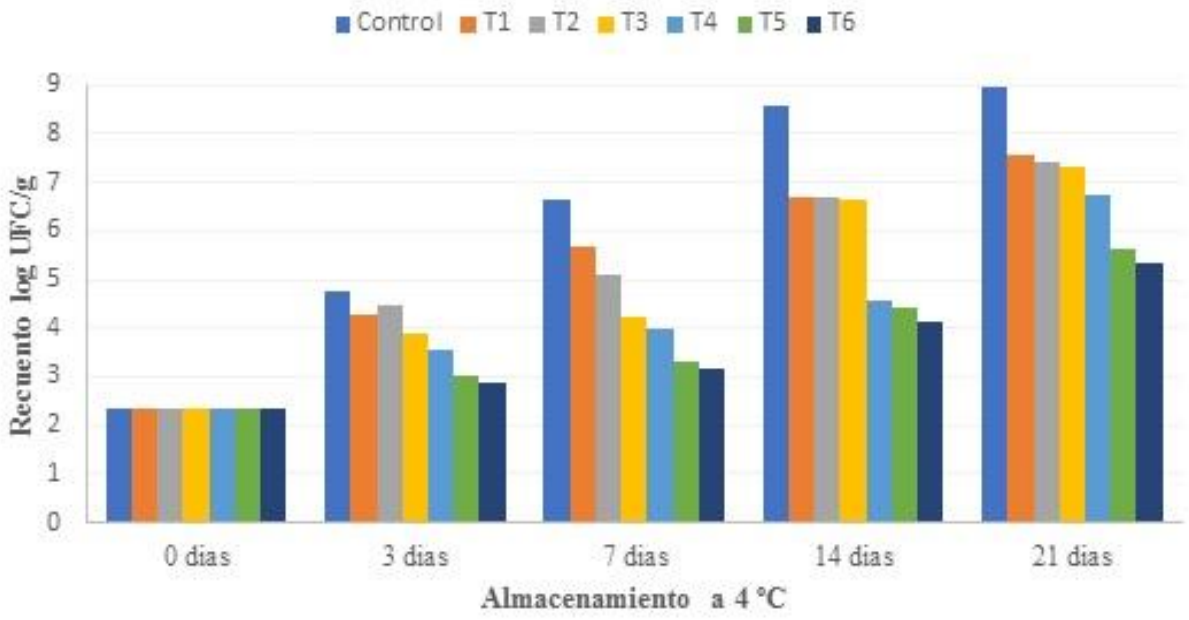


Fuente Thanjavur et al., 2022

En el estudio de Smaoui et al., (2016), investigaron ó el aceite esencial de *Mentha piperita* (EOMP), en donde el efecto bio-preservador de la EOMP utilizada sola a 0,25 o 0,5% y en combinación con la bacteriocina BacTN635 a 500 o 1000 UA/g, sobre la carne de bovino picada se evaluó mediante análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales durante el almacenamiento a 4 °C por 21 días. En las figuras 11, 12 y 13 se muestran los recuentos de Aerobios Mesófilos, pH, y la evaluación sensorial (olor) de las siguientes muestras: a) Control, b) (T1) *M. piperita* EO 0,25%, c) (T2) *M. piperita* EO 0,5%, d) (T3) *M. piperita* EO 0,25% y BacTN635 500 UA/g, f) (T4) *M. piperita* EO 0,25% y BacTN635 1000 UA/g, g) (T5) *M. piperita* EO 0,5% y BacTN635 500 AU/g, h) (T6) *M. piperita* EO 0,5% y BacTN635 1000 AU/g.

Figura 11

Efecto de Mentha piperita EOs y su combinación con BacTN635 sobre los recuentos de Aerobios Mesófilos de la carne de res molida



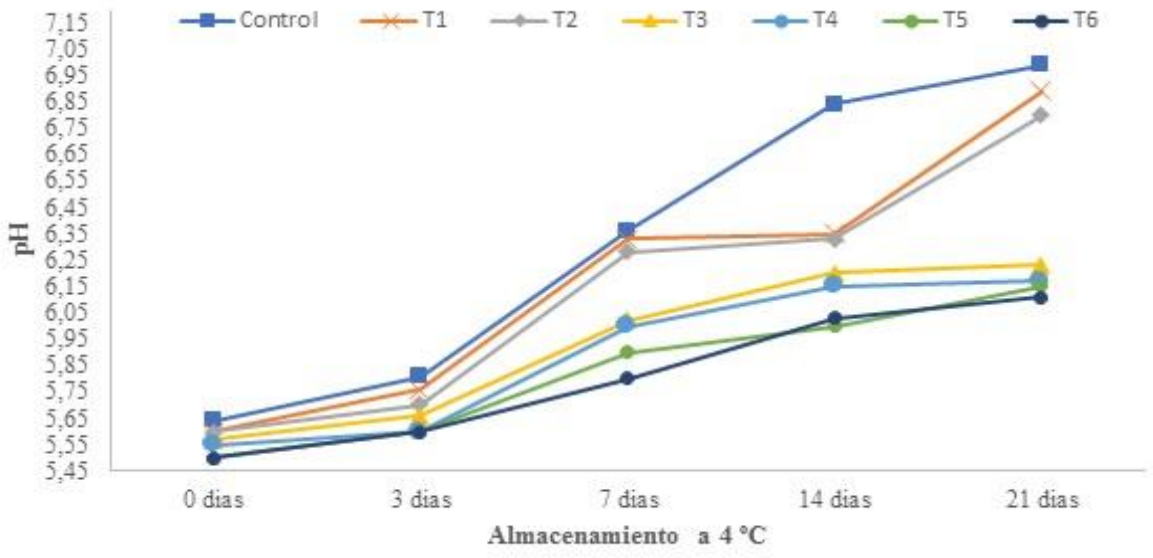
Fuente: (Smaoui et al., 2016).

En la figura 11 los recuentos de Aerobios Mesófilos (APC) de las siete muestras estudiadas (Control y T_{1-6}) aumentó gradualmente a lo largo del período de almacenamiento. El valor inicial de APC fue de 2,34 log UFC/g, lo que indicaba la buena calidad de la carne de vacuno picada cruda. Cabe señalar que, según la AFNOR V01-003 de 2004, el final de la vida útil microbiológica de la carne de vacuno cruda picada estaba limitado por un recuento de APC de 6,7 UFC/g. Este valor se superó el día 7 para el control, el día 14 para T_1, T_2 y T_3 muestras y el día 21 (T_4). Finalmente, para T_5 y T_6 se observó que permanecían por debajo de los límites detección (log 6,7 UFC/g) hasta el día 21 de almacenamiento por tener mayor concentración de bacteriocina (Smaoui et al., 2016).

Según la figura 12 se encontró que el pH inicial de la muestra de carne picada era de 5,64 ± 0,27. Se encontró que el valor de pH de la muestra de control aumentó de 5,64 ± 0,27 a 6,99 ± 0,26 al final del período de almacenamiento. En comparación con la muestra de control, no se encontraron diferencias significativas con respecto al valor de pH de las muestras T_1 y T_2. Los pH para las muestras de la T_3 hasta T_6 se mantuvieron dentro de parámetros normales, debido a que estas muestras estaban combinadas con bacteriocinas (Smaoui et al., 2016).

Figura 12

Efecto de Mentha piperita EOs y su combinación con BacTN635 sobre los valores de pH de la carne de res molida.



Fuente (Smaoui et al., 2016).

Según la figura 13 las puntuaciones de olor de carne de vacuno cruda picada tratada con combinaciones EOMP/BacTN635 (muestras T_3 –T_6) fueron evaluados por los panelistas con puntuaciones superiores de 5, alcanzado hasta el día 14 de almacenamiento (Smaoui et al., 2016).

Figura 13

Efecto de EOMP y su combinación con BacTN635 sobre los valores de Olor de la carne de res molida

Fuente (Smaoui et al., 2016).

En este estudio se mostró que el uso combinado de EOMP con la bacteriocina BacTN635, producido por la cepa *L. plantarum* TN635, tiene un interesante efecto bio-preservador sobre la carne de vacuno cruda picada durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C. En particular, la adición de EOMP al 0,5% combinada con BacTN635 a 1000 UA / g retrasó la proliferación de microorganismos de deterioro, y mejoró los niveles de atributos sensoriales y extendió la vida útil. Por lo tanto, esta combinación puede considerarse como una herramienta fuerte y prometedora para su futura aplicación como un método seguro para la conservación de productos cárnicos (Smaoui et al., 2016).

En el estudio de Cárdenas et al., (2013), evaluaron el efecto de la utilización de diferentes antimicrobianos naturales (nisina - 3%; lactato de sodio - 3%; lactato de potasio - 3%; acetato-lactato - 1%) sobre la estabilidad de hamburguesas de carne de res. En la primera etapa del estudio, las hamburguesas fueron inoculadas con E. *Coli* y mantenidas en refrigeración por ocho días. En la segunda etapa, las hamburguesas, sin la inoculación de E. *Coli*, fueron refrigeradas

por 10 días. Las muestras se evaluaron para color, pH, conteo microbiológico y atributos sensoriales (hamburguesas de la segunda etapa). La adición de nisina promovió la mayor inhibición microbiana y la mejor estabilidad del pH de las hamburguesas en la tabla 8 y en la figura 14.

Tabla 8

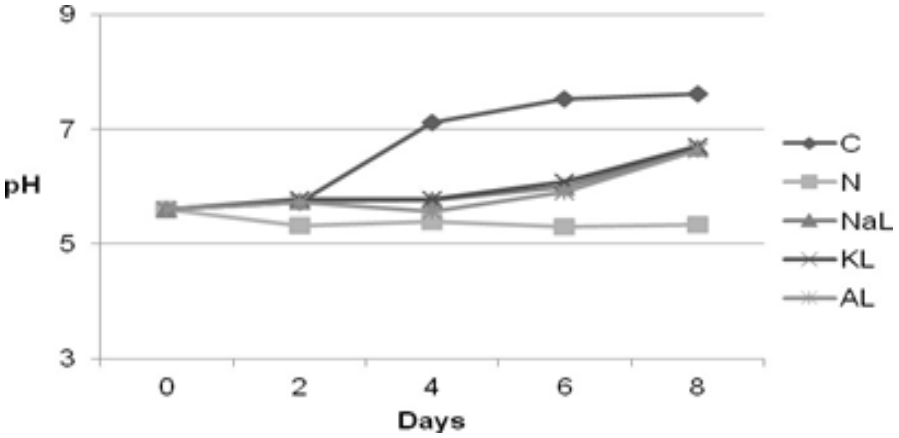
Conteo de Escherichia Coli, reducción logarítmica de Escherichia Coli y valor de pH en hamburguesas con varios antimicrobianos después de 8 días en refrigeración 4 ºC

Tratamiento	*Escherichia Coli* inoculado (logUFC/g)	Reducción logarítmica (logUFC/g)	pH
Control (C)	7,2	-0,17	6,99
Nisina (N)	3,74	3,29	5,34
Lactato de sodio (NaL)	5,43	1,6	6,04
Lactato de potasio (KL)	4,7	2,33	6,09
Lactato acetato (AL)	5,76	1,27	5,96

*Fuente***.** (Cárdenas et al., 2013)

Figura 14

Cambios de pH en las hamburguesas inoculadas con Escherichia coli y adicionadas con antimicrobianos a lo largo de 8 días almacenadas a 4 ºC



Nota. Control (C), Nisina (N), Lactato de sodio (NaL), Lactato de potasio (KL), Lactato acetato (AL). Tomado de (Cárdenas et al., 2013)

Se reporta finalmente que la nisina ha demostrado un modo de acción dual, debido a que esta se une a la pared celular mediante atracciones electrostáticas lo cual se facilita debido a la carga positiva de este péptido y a las cargas negativas de los componentes de la pared celular. Seguidamente la Nisina se une al lípido II para prevenir la síntesis correcta de la pared celular, provocando la formación de un poro transmembranal permitiendo la salida de aminoácidos y ATP, lo que conduce a la muerte celular (Beristain-Bauza et al., 2012).

Aplicación de las Bacteriocinas como Biopreservantes en Productos Cárnicos

Dado que las bacterias ácido-lácticas se encuentran en la carne y los productos cárnicos, las bacteriocinas producidas por estos microorganismos se pueden utilizar en la biopreservación de productos cárnicos fermentados, como salchichas y salamis (Borges, 2016).

Reportan que la *Lactobacillus sakei* mostró efecto bactericida contra *Listeria monocytogenes* y efecto bacteriostático contra *Staphylococcus aureus* en embutidos; este producto de bacteriocinas también fue capaz de hidrolizar extractos de carne de cerdo mejorando las características sensoriales. La adición directa de nisina también se utilizó en carne fermentada (Borges, 2016).

Entre las aplicaciones más importantes de las bacteriocinas en carne o sus derivados, se encuentran las siguientes:

Embutidos

Para inhibir *C. botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium* y *E. coli*, y para reducir el uso de los nitritos y sus derivados que pueden formar nitrosaminas carcinogénicas. Por ejemplo, las Enterocina A y Enterocina B producida por *Enterococcus faecalis* inhibe la *Listeria monocytogenes* en salchichas en la etapa de empacado (Beristain-Bauza et al., 2012).

Embutidos Fermentados. Los resultados de (Zhang et al., 2020) mostraron que la bacteriocina IIa, producida por el *Lactobacillus plantarum* cambió la composición de la comunidad bacteriana, inhibiendo el crecimiento de bacterias de deterioro durante la fermentación y maduración de salchichas fermentadas bajas en sal.

Carnes

La Sakacina producida por *Lactobacillus sake* inhibe la *Listeria monocytogenes* en carnes de res y pollo refrigerados.

En la tabla 9, se resumen las aplicaciones de bacteriocinas clase II producidas por bacterias ácido-lácticas aplicadas en carne o sus derivados.

Tabla 9

Aplicaciones de bacteriocinas clase II de bacterias del ácido láctico

Bacteriocina	Categoría	Estrategia	Efectos informados	Estado
Carnobacteriocina BM1, piscicolina 126 y carnociclina A	Clase IIa; Clase IIc	Sobrenadante de cultivo libre de células de *Carnobacterium maltaromaticum CB1*	Inhibición *L.monocytogenes* y microflora en la carne	Commercial: (Micocin®, Griffith Laboratories Scarborough, Canadá)
	Clase IIc	Combinación con alta presión hidrostática	Mejora de los efectos en la inhibición de la población bacteriana en filetes de pescado refrigerados	Investigación
Enterocina AS-48	Clase IIa	cultivo liofilizado de *Leuconostoc carnosum*	Iniciar el cultivo para controlar la Listeria en la carne.	Comercial (Bactoferm™ B-SF-43, Chr. Hansen, Dinamarca)
Plantaricina JK	Clase IIa	Inmovilizado en hojas de papel recubiertas de polietileno	Envase activo con efectos anti-Listeria en lonchas de carne de ternera cortada fina	Investigación

Bacteriocina	Categoría	Estrategia	Efectos informados	Estado
	Clase IIa	cultivo liofilizado de *Pediococcus acidilactici*,	Iniciar el cultivo de Salami para controlar *Listeria monocytogenes*	Comercial (Bactoferm™ F-LC, Chr. Hansen, Dinamarca)

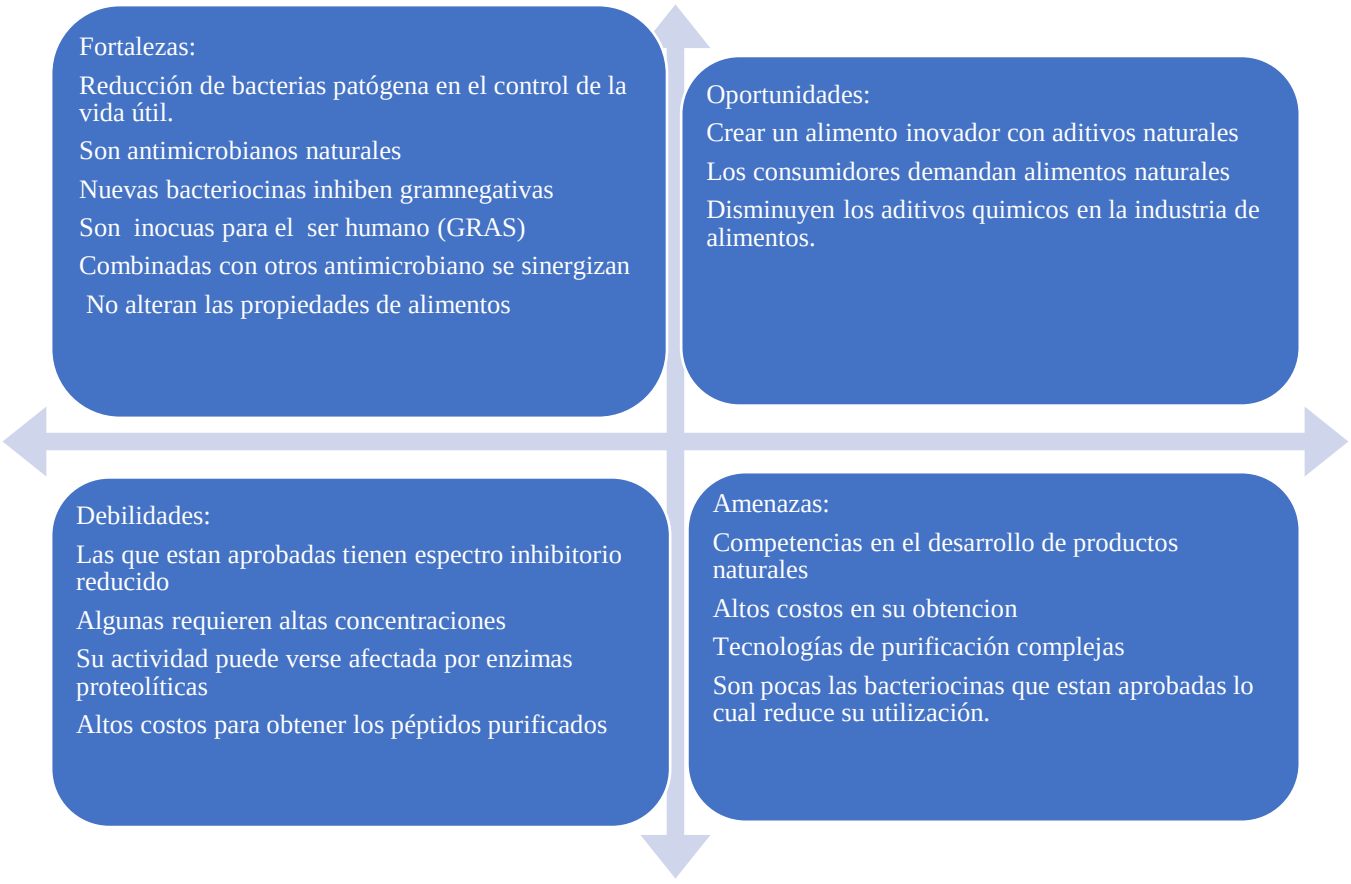
Fuente. Adaptado de (Yi et al., 2022)

Análisis de las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA) al Aplicar Bacteriocinas en la Industria de Alimentos

En la figura 15 se muestra un DOFA donde se menciona las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas para la industria de alimentos al aplicar las bacteriocinas sobre microorganismos patógenos y deteriorantes en matrices cárnicas.

Figura 15

DOFA al Aplicar Bacteriocinas en la Industria de Alimentos



Fuente Elaboración propia

Conclusiones

Se observaron en los resultados de estos estudios la importancia de utilizar las bacteriocinas en los productos cárnicos, debido a que pueden aplicarse directamente e incluirse en la formulación del producto, sin alterar las características fisicoquímica (pH) y sensoriales; aun cuando es probable combinar bacteriocinas con técnicas de obstáculos (aceites esenciales, ácidos orgánicos, bacteriófagos) o sustancias antimicrobianas para dar sinergia a la acción inhibidora dando mejores resultados.

La combinación de la bacteriocina BacTN635 en una concentración de 1000 UA/g con 0.5% de Aceite esencial de *Mentha piperita* EOMP, tiene un efecto inhibidor importante de *Aerobios Mesófilos, Enterobacterias* y *Pseudomonas* sobre la carne de res cruda picada durante el almacenamiento refrigerado a 4°C, de hecho, no altera las propiedades sensoriales de la carne. Finalmente, las bacteriocinas en combinación pueden generar una sinergia para inhibir *L. Monocytogenes* en salchichas tipo perro.

Diferentes estudios comparativos de nisina y antimicrobianos demuestran una mayor actividad antimicrobiana contra *E coli*.

Se evidenció que existen diferentes bacteriocinas novedosas con propiedades únicas y prometedoras para la industria de alimentos. Sin embargo, existe poca información sobre el modo de acción, para la explotación segura y efectiva de las bacteriocinas descubiertas en la industria de alimentos. En esta revisión se concluye que la nisina y la pediocina exhiben baja eficacia para inhibir las bacterias gramnegativas. En este sentido, el uso de bacteriocinas recién descubiertas pueden ser alternativas prometedoras para garantizar la seguridad de la carne y los productos cárnicos; o en combinación con ácido láctico que permita permeabilizar la membrana externa de las células gramnegativas.

Se concluye que *Lactobacillus sakei* y su bacteriocina sakacina 1 pueden ser útiles para inhibir las primeras etapas de la adherencia a *Listeria monocytogenes* en superficies de contacto en la industria cárnica.

El proceso biotecnológico de metabolitos de las BAL como las bacteriocinas son muy importante como antimicrobiano natural en la carne, ya que inhibe bacterias patógenas y alterantes que están presente tanto en los equipos como en la materia prima “carne”, en los procesos de sacrificio y deshuese del ganado, extendiendo la vida útil del producto refrigerado. Sin embargo, son procesos costosos comparado con los antimicrobianos químicos utilizados en la industria; por tal razón se debe utilizar en combinación con técnicas de obstáculos (ácido láctico, aceites esenciales o baja dosis de aditivos químicos), no solamente para reducir costos sino también para beneficiar la salud del consumidor. Además, son pocas las bacteriocinas aprobadas.

Recomendaciones

Es necesario realizar más estudios aplicados a la utilización de las bacteriocinas en las matrices cárnicas; especialmente en carne fresca, ya que los pocos estudios que están publicados son de derivados cárnicos.

Hacer investigaciones sobre la vida útil de la carne refrigerada, aplicando bacteriocinas clase II recién descubierta

Teniendo en cuenta que estos antimicrobianos como la Nisina son ampliamente utilizados como aditivos químicos, se recomienda gestionar en la legislación la aprobación de las bacteriocinas novedosas existentes

Referencias. Bibliográficas

Abrams, D., Barbosa, J., Albano, H., Silva, J., Gibbs, P. A., & Teixeira, P. (2011). *Characterization of bacPPK34 a bacteriocin produced by Pediococcus pentosaceus strain K34 isolated from "Alheira."* https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.029

Agudelo Londoño, N. (2014). *Estado del arte de la obtención de bacteriocinas a partir de bacterias ácido lácticas y su aplicación en la industria de alimentos.*

Aguado, Luis., Álvarez, Yenizey., & Ponce, E. (2010). *Evaluacion del efecto antimicrobiano in vitro del extracto crudo de bacteriocina en combinacion con conservantes quimicos utilizado en la industria carnica*. http://cbs.izt.uam.mx/nacameh

Anjana, & Tiwari, S. K. (2022). *Bacteriocin-Producing Probiotic Lactic Acid Bacteria in Controlling Dysbiosis of the Gut Microbiota*. Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.851140

Arrieta, A. S., García, P. D. L., Martínez, D. S. N., Mendívil, G. M., & Taron, D. A. (2019). *Bio-conservación de carne de hamburguesa de res utilizando nisina Lactococcus lactis para inhibir el crecimiento de Escherichia Coli*. https://www.cabdirect.org/globalhealth/abstract/20203147673

Balciunas, Eduardo., Castillo, Fabio., Todorov, Svetoslav., Franco, Bernadette., Converti, Attilio., & Oliveira, Ricardo. (2013). *Novel biotechnological applications of bacteriocins: A review*. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.025

Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2022). *Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661

Beristain-Bauza, S. C., Palou, E., & López-Malo, A. (2012). *Bacteriocinas: antimicrobianos naturales y su aplicación en los alimentos*. Mexico: Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos

Beshkova, D., & Frengova, G. (2012). *Bacteriocins from lactic acid bacteria: Microorganisms of potential biotechnological importance for the dairy industry*. https://doi.org/10.1002/elsc.201100127

Betancur Giraldo, Claudia. (2021). *Nuevas Tecnologías de Conservación No Térmica*. clabetancur@epm.net.co

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*. MDPI. https://doi.org/10.3390/microorganisms10102058

Bohrer, B. M. (2017). *Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein*. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.016

Borges, S. (2016). *Bacteriocins: production, applications and safety*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

Brashears, M. M., & Chaves, B. D. (2017). *The diversity of beef safety: A global reason to strengthen our current systems*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.03.015

Cárdenas, L. G., Ponce-Alquicira, E., Ernlund, R., Macedo, F., Salud, M., & Lozano, R. (2013). *Effects of natural antimicrobials on microbiological stability, pH, aspect and sensory properties of ground beef patties stored under refrigeration* (Vol. 4, Issue 3).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242013000300001&script=sci_abstract&tlng=en

Castellano, P., Belfiore, C., Fadda, S., & Vignolo, G. (2008). *A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.10.009

CDC. (2018). *Signos y síntomas | Multistate Outbreak of Salmonella Enteritidis Infections Linked to Pet Guinea Pigs | March 2018 | Salmonella | CDC*. https://www.cdc.gov/salmonella/guinea-pigs-03-18/signs-symptoms_esp.html

Chakchouk-mtibaa, Ahlem., Smaoui, S., Ktari, N., Sellem, I., Najah, S., Karray-rebai, I., & Mellouli, L. (2017). *Biopreservative Efficacy of Bacteriocin BacFL31 in Raw Ground Turkey Meat in terms of Microbiological, Physicochemical, and Sensory Qualities*. https://doi.org/10.4265/bio.22.67

Corbalán, N., Quiroga, M., Masias, E., Peralta, D., Barros Velázquez, J., Acuña, L., & Vincent, P. (2021). *Antimicrobial activity of MccJ25(G12Y) against gram-negative foodborne pathogens in vitro and in food models*. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109267

de Alba, María., Bravo, D., & Medina, M. (2013). *Inactivation of Escherichia coli O157: H7 in dry-cured ham by high-pressure treatments combined with biopreservatives*. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.043

DeAzevedo, P. O. S., Mendonça, C. M. N., Seibert, L., Domínguez, J. M., Converti, A., Gierus, M., & Oliveira, R. P. S. (2017). *Bacteriocin-like inhibitory substance of Pediococcus pentosaceus as a biopreservative for Listeria sp. control in ready-to-eat pork ham*. https://doi.org/10.1007/s42770-020-00245-w/Published

Ensin. (2015). *libro-ensin-2015*. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/Forms/DispForm.aspx?ID=21426

FAO. (2022). *Cuentas de Suministro y Utilización (CSU)*. https://www.fao.org/faostat/es/#data/SCL

Favaro, L., & Todorov, S. D. (2017). *Bacteriocinogenic LAB Strains for Fermented Meat Preservation: Perspectives, Challenges, and Limitations*. https://doi.org/10.1007/s12602-017-9330-6

Fernández Villa, K., Chanci Echeverri, I., Wilches López, L., & Cardona Arias, J. (2014). *Characterization of metabolites of lactic acid bacteria and inhibitory effect of bacteriocins on pathogenic microorganisms in foods: a systematic literature review*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502014000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Gálvez, A., López, R. L., Pulido, R. P., & Burgos, M. J. G. (2014). *Natural Antimicrobials for Food Biopreservation*. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2029-7_2

Gao, Y., Li, D., Sheng, Y., & Liu, X. (2011). *Mode of action of sakacin C2 against Escherichia coli*. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.07.010

Hugo, C. J., & Hugo, A. (2015). *Current trends in natural preservatives for fresh sausage products*. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.003

Ishaq, A., Syed, Q. A., Ebner, P. D., & Ubaid ur Rahman, H. (2021). *Multiple hurdle technology to improve microbial safety, quality and oxidative stability of refrigerated raw beef*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110529

Kaur, R., & Kaur, L. (2021). *Encapsulated natural antimicrobials: A promising way to reduce microbial growth in different food systems*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107678

Kretli, Lizziane. (2016). *Bacteriocins: production, applications and safety*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

Lee, J. S., Park, S. W., Lee, H. bin, & Kang, S. S. (2021). *Bacteriocin-Like Inhibitory Substance (BLIS) Activity of Enterococcus faecium DB1 Against Biofilm Formation by Clostridium perfringens*. https://doi.org/10.1007/s12602-021-09813-4

Lu, Y., Aizhan, R., Yan, H., Li, X., Wang, X., Yi, Y., Shan, Y., Liu, B., Zhou, Y., & Lü, X. (2020). *Characterization, modes of action, and application of a novel broad-spectrum bacteriocin BM1300 produced by Lactobacillus crustorum MN047*. *51*(4), 2033–2048. https://doi.org/10.1007/s42770-020-00311-3

Mateos Aparicio, I. (2017). *Aditivos alimentarios*. España: Editorial Dextra

Mathur, H., Field, D., Rea, M. C., Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, R. P. (2018). *Fighting biofilms with lantibiotics and other groups of bacteriocins*. https://doi.org/10.1038/s41522-018-0053-6

Messaoudi, S., Kergourlay, G., Dalgalarrondo, M., Choiset, Y., Ferchichi, M., Prévost, H., Pilet, M. F., Chobert, J. M., Manai, M., & Dousset, X. (2012). *Purification and characterization of a new bacteriocin active against Campylobacter produced by Lactobacillus salivarius SMXD51*. https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.05.002

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. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108453

Montiel, R., Martín, I., Langa, S., Aouad, N., Arqués, L., Reyes, F., & Medina, M. (2014). *Antimicrobial activity of reuterin produced by Lactobacillus reuteri on Listeria monocytogenes in cold-smoked salmon*. https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.006

Moon, S. H., Paik, H. D., White, S., Daraba, A., Mendonca, A. F., & Ahn, D. U. (2011). *Influence of nisin and selected meat additives on the antimicrobial effect of ovotransferrin against Listeria monocytogenes*. https://doi.org/10.3382/ps.2010-01275

Naqvi, Z. B., Campbell, M. A., Latif, S., Thomson, P. C., Astruc, T., Friend, M. A., Vaskoska, R., & Warner, R. D. (2022). *The effect of extended refrigerated storage on the physicochemical, structural, and microbial quality of sous vide cooked biceps femoris treated with ginger powder (zingibain)*. *186*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108729

O'Connor, P. M., Kuniyoshi, T. M., Oliveira, R. P., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2020). *Antimicrobials for food and feed; a bacteriocin perspective*. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.023

Potter, N., & Hotchkiss, J. (1999). *Ciencias de los Alimentos*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA, S.A

Priyesh, Paul., Muriana, Peter., & Hayes, Maria. (2017). *Inhibition of Listeria monocytogenes on Ready-to-Eat Meats Using Bacteriocin Mixtures Based on Mode-of-Action*. https://doi.org/10.3390/foods6030022

Rendueles, C., Duarte, A. C., Escobedo, S., Fernández, L., Rodríguez, A., García, P., & Martínez, B. (2022). *Combined use of bacteriocins and bacteriophages as food biopreservatives. A review*. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109611

Rivas, F. P., Castro, M. P., Vallejo, M., Marguet, E., & Campos, C. A. (2014). *Sakacin Q produced by Lactobacillus curvatus ACU-1: Functionality characterization and antilisterial activity on cooked meat surface*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.03.003

Sarika, A. R., Lipton, A. P., Aishwarya, M. S., & Dhivya, R. S. (2012). *Isolation of a bacteriocin-producing lactococcus lactis and application of its bacteriocin to manage spoilage bacteria in high-value marine fish under different storage temperatures*. *167*(5). https://doi.org/10.1007/s12010-012-9701-0

Sastoque Méndez, D. L. (2017). *Competitividad en Colombia: una revisión de articulación de las apuestas productivas de las regiones en Colombia para el 2016-2020*.

Seo, H. J., & Kang, S. S. (2020). *Inhibitory effect of bacteriocin produced by Pediococcus acidilactici on the biofilm formation of Salmonella Typhimurium*. *117*. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107361

Singh, V. P. (2018). *Recent approaches in food bio-preservation - a review*. https://doi.org/10.4314/ovj.v8i1.16

Skariyachan, S., & Govindarajan, S. (2019). *Biopreservation potential of antimicrobial protein producing Pediococcus spp. towards selected food samples in comparison with chemical preservatives*. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.002

Smaoui, S., Elleuch, L., ben Salah, R., Najah, S., Chakchouk-Mtibaa, A., Sellem, I., Besbes, S., & Mellouli, L. (2014). *Efficient role of BacTN635 on the safety properties, sensory*

attributes, and texture profile of raw minced meat beef and chicken breast. https://doi.org/10.1080/19440049.2013.873144

Smaoui, S., Hsouna, A. ben, Lahmar, A., Ennouri, K., Mtibaa-Chakchouk, A., Sellem, I., Najah, S., Bouaziz, M., & Mellouli, L. (2016). *Bio-preservative effect of the essential oil of the endemic Mentha piperita used alone and in combination with BacTN635 in stored minced beef meat*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006

Thanjavur, N., Sangubotla, R., Lakshmi, B. A., Rayi, R., Mekala, C. D., Reddy, A. S., & Viswanath, B. (2022). *Evaluating the antimicrobial and apoptogenic properties of bacteriocin (nisin) produced by Lactococcus lactis*. https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2022.09.030

Tonsor, G. T., & Lusk, J. L. (2022). *U.S. perspective: Meat demand outdoes meat avoidance*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108843

Turgis, M., Vu, K. D., Dupont, C., & Lacroix, M. (2012). *Combined antimicrobial effect of essential oils and bacteriocins against foodborne pathogens and food spoilage bacteria*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.016

Winkelströter, L. K., Gomes, B. C., Thomaz, M. R. S., Souza, V. M., & de Martinis, E. C. P. (2011). *Lactobacillus sakei 1 and its bacteriocin influence adhesion of Listeria monocytogenes on stainless steel surface*. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.02.021

Woraprayote, W., Malila, Y., Sorapukdee, S., Swetwiwathana, A., Benjakul, S., & Visessanguan, W. (2016). *Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products*. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.004

Yan, H., Lu, Y., Li, X., Yi, Y., Wang, X., Shan, Y., Liu, B., Zhou, Y., & Lü, X. (2021). *Action mode of bacteriocin BM1829 against Escherichia coli and Staphylococcus aureus*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100794

Yi, Y., Li, P., Zhao, F., Zhang, T., Shan, Y., Wang, X., Liu, B., Chen, Y., Zhao, X., & Lü, X. (2022). Current status and potentiality of class II bacteriocins from lactic acid bacteria: structure, mode of action and applications in the food industry. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 120, pp. 387–401). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.018

Zhang, Qiuxiang. (2019). *Lactic Acid Bacteria and Bacteriocins* (pp. 64–91). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7283-4_4

Apéndices

Apéndice A. Resultados revisión artículos de investigación Scopus y Web of Science

Scopus			Web of Science		
No	Revisión fecha1	Revisión fecha2	No	Revisión fecha1	Revisión fecha2
1	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	1	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
2	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	2	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
3	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	3	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
4	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	4	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
5	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	5	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
6	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	6	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
7	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	7	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
8	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	8	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
9	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	9	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
10	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	10	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
11	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	11	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
12	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	12	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
13	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	13	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
14	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	14	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
15	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	15	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
16	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2	16	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
17	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2	17	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
18	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2	18	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
19	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2	19	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
20	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	20	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
21	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	21	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
22	No Cumple objetivo	Cumple objetivo uno	22	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
23	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	23	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
24	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	24	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
25	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	25	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
26	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	26	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
27	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	27	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
28	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	28	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
29	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	29	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
30	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	30	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
31	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	31	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
32	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	32	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
33	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	33	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
34	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	34	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
35	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	35	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo

Scopus			Web of Science		
No	Revisión fecha1	Revisión fecha2	No	Revisión fecha1	Revisión fecha2
36	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	36	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
37	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	37	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
38	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	38	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
39	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	39	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
40	No Cumple objetivo	Cumple objetivo uno	40	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
41	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2	41	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
42	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	42	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
43	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2	43	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
44	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	44	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
45	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	45	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
46	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	46	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
47	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	47	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
48	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	48	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
49	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	49	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
50	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	50	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
51	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	51	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
52	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	52	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
53	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	53	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
54	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	54	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
55	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	55	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
56	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	56	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
57	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	57	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
58	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	58	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
59	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	59	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
60	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	60	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
61	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	61	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
62	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	62	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
63	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	63	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
64	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	64	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
65	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	65	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
66	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	66	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
67	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	67	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
68	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	68	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
69	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	69	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
70	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	70	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
71	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	71	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
72	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	72	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
73	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	73	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
74	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	74	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo

Scopus			Web of Science		
No	Revisión fecha1	Revisión fecha2	No	Revisión fecha1	Revisión fecha2
75	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	75	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
76	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	76	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
77	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	77	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
78	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	78	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
79	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	79	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
80	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	80	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
81	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	81	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
82	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	82	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
83	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	83	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
84	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	84	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
85	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	85	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
86	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	86	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
87	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	87	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
88	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	88	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
89	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	89	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
90	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno	90	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
91	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	91	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
92	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	92	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
93	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	93	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
94	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	94	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
95	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	95	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
96	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo	96	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			97	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			98	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			99	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			100	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			101	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			102	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			103	Cumple objetivo uno	No Cumple objetivo
			104	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			105	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			106	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			107	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			108	Cumple objetivo uno	No Cumple objetivo
			109	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			110	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			111	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			112	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			113	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo

Scopus			Web of Science		
No	Revisión fecha1	Revisión fecha2	No	Revisión fecha1	Revisión fecha2
			114	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			115	Cumple objetivo uno	No Cumple objetivo
			116	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			117	Cumple objetivo uno	No Cumple objetivo
			118	Cumple objetivo uno	No Cumple objetivo
			119	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			120	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			121	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
			122	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			123	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			124	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			125	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
			126	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo

Fuente: Elaboración propia

Apéndice B. Resultados revisión artículos de investigación Science direct

Número del articulo	Revisión fecha1	Revisión fecha2
1-4	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
5	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
6	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
7	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
8	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
9	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
10-11	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
12	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
13	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
14	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
15	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
16-17	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
18	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
19	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
20	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
21-25	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
26-30	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
31-32	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
33	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
34-36	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
37-38	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
39	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno

Número del articulo	Revisión fecha1	Revisión fecha2
40-97	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
98	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
99-220	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
221	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
222-256	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
257	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
258-310	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
311	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
312-320	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
321	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
322-377	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
378	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
379-452	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
453	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
454-551	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
552	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
553-632	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
633	Cumple objetivo uno	Cumple objetivo uno
634-704	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo
705	Cumple objetivo 1 y 2	Cumple objetivo 1 y 2
706-759	No Cumple objetivo	No Cumple objetivo

Fuente: Elaboración propia