

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADOS

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

Estudio de la Actividad Antimicrobiana de las Bacterias Ácido

Lácticas en Alimentos Cárnicos

AUTORES:

Angie Mishell Granja Cedeño

Freddy Orlando Velasco Gaybor

DIRECTORA:

María Fernanda Garces Moncayo

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Nosotros, **Angie Mishell Granja Cedeño** y **Freddy Orlando Velasco Gaybor** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magisteren Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Alimentación y Nutrición** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 19 de julio del 2024



Angie Mishell Granja Cedeño

1724954779



Freddy Orlando Velasco Gaybor

0921172375

Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **María Fernanda Garcés Moncayo** en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Angie Mishell Granja Cedeño** y **Freddy Orlando Velasco Gaybor**, cuyo tema es **Estudio de la Actividad Antimicrobiana de las Bacterias Ácido Lácticas en Alimentos Cárnicos**, que aporta a la Línea de Investigación **Alimentación y Nutrición**, previo a la obtención del GradoMagister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informede Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 19 de julio del 2024

María Fernanda Garcés Moncayo

1803571577

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **BIOTEC GRANJA CEDEÑO ANGIE MISHELL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LAS DE BACTERIAS ACIDOLÁCTICAS (BAL) EN ALIMENTOS CÁRNICOS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	57.33
SUSTENTACIÓN	37.50
PROMEDIO	94.83
EQUIVALENTE	Muy Bueno



LUIS EDUARDO CAGUA
MONTAÑO

Mgs CAGUA MONTAÑO LUIS EDUARDO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



DARIO JAVIER CRUZ
SARMIENTO

Phd CRUZ SARMIENTO DARIO JAVIER
VOCAL



ALEX EDWIN GUILLEN
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **MVZ. VELASCO GAYBOR FREDDY ORLANDO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LAS DE BACTERIAS ACIDOLÁCTICAS (BAL) EN ALIMENTOS CÁRNICOS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	57.33
SUSTENTACIÓN	37.33
PROMEDIO	94.67
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Presentado y certificado por:
LUIS EDUARDO CAGUA MONTAÑO

Mgs CAGUA MONTAÑO LUIS EDUARDO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Presentado y certificado por:
DARIO JAVIER CRUZ SARMIENTO

Phd CRUZ SARMIENTO DARIO JAVIER
VOCAL



Presentado y certificado por:
ALEX EDWIN GUILLEN BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

Dedicatoria

A mis queridos padres:

Por su inquebrantable apoyo, su amor incondicional y su constante aliento. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado en cada paso de este viaje. Este trabajo es tanto mía como suya, pues sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis hermanos Jegner y Jeremy:

Verlos crecer y convertirse en personas de bien es mi mayor orgullo y felicidad. Que este logro les inspire a perseguir sus sueños y a no rendirse ante los obstáculos. Los quiero con todo mi corazón y les agradezco por ser mi motor y motivo para superarme cada día.

A mi querida familia y amigos:

Por estar siempre presentes, por sus palabras de ánimo y por los momentos de alegría compartidos. Su apoyo ha sido esencial para mí y ha hecho que este logro sea aún más especial. Agradezco profundamente su compañía y el amor que me han brindado.

*Con todo mi cariño,
Angie G.*

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que hicieron posible este logro.

A mis hijos, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que hicieron posible este logro.

A mi directora de tesis, por su guía experta, paciencia y motivación durante este proceso de aprendizaje.

A mis amigos y seres queridos, por comprender mis ausencias y brindarme ánimos en los momentos más difíciles.

A todos los que creyeron en mí y me alentaron a perseguir mis sueños académicos.

Este trabajo está dedicado a ustedes, quienes han sido mi fuente de inspiración y fuerza a lo largo de este camino hacia la maestría.

Freddy V.

Agradecimientos

Deseo manifestar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que me brindaron su apoyo, guía y compromiso durante este proceso. Ha sido una travesía enriquecedora y significativa, y no habría alcanzado este punto sin la colaboración y el ánimo de cada uno de ustedes.

En primer lugar, a mis padres y hermanos, por su inquebrantable apoyo y amor incondicional. Ustedes han sido mi pilar fundamental y su confianza en mí ha sido una fuente constante de inspiración. Sin su guía y sacrificio, este logro no habría sido posible.

A mis profesores y mentores, por compartir su conocimiento y experiencia. En especial, quiero expresar mi gratitud a la Magister María Fernanda Garcés Moncayo, mi tutora, por su orientación experta, paciencia y compromiso. Su dedicación a mi desarrollo académico ha sido incalculable, y estoy profundamente agradecida por el tiempo y esfuerzo que ha dedicado a mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente, agradezco a la Universidad UNEMI, valoro enormemente la oportunidad de aprender y desarrollarme profesionalmente, y espero seguir aplicando los conocimientos adquiridos en este proceso.

A todos ustedes, gracias por ser una fuente constante de inspiración y por contribuir de manera significativa a mi educación.

Angie G.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo de investigación.

No puedo dejar de mencionar el apoyo incondicional de mi familia durante estos años de estudio. Su amor, comprensión y aliento han sido mi mayor motivación para seguir adelante.

También deseo reconocer a mis amigos y colegas que me han brindado su apoyo y aliento en momentos clave de este viaje académico.

Finalmente, agradezco a todas las instituciones y organizaciones que facilitaron el acceso a recursos y datos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Este trabajo no habría sido posible sin la contribución de todos ustedes. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Freddy V

Resumen

Se estudió la actividad antimicrobiana de las bacterias ácido láctica en diferentes tipos de alimentos cárnicos, para determinar su potencial como bioconservante y mejorar de la calidad sensorial de dichos alimentos. El diseño de estudio se basó en la metodología PICO (Población/Problema, Intervención, Comparación, Resultados) y los datos fueron recolectados de bases científicas y académicas entre 2014 y 2024. Los resultados demuestran la actividad antimicrobiana de las bacterias ácido lácticas contra patógenos comunes en alimentos cárnicos, como *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes*, además de la influencia de varios factores, como el tipo de alimento, las condiciones de almacenamiento y la cepa bacteriana específica utilizada. En particular, se observó una reducción del 85 al 95% en la carga bacteriana de *E. coli* y *Salmonella* en muestras tratadas con bacterias ácido lácticas. Se identificó que *Lactobacillus plantarum* es el más utilizado en la industria de alimentos cárnicos como inhibidor de patógenos, mientras que *Lactobacillus salivarius* demostró tener mayor potencial para inhibir *L. monocytogenes* y *Salmonella* spp. (ambos a 10^4 UFC/g) en carne de pollo en condiciones de refrigeración, mientras que *Lactobacillus sakei* mostró mejores resultados a temperatura ligeramente más altas (7-20°C). Los alimentos cárnicos mostraron una mejora notable en la calidad sensorial cuando se combinaron tratamientos de bacterias ácido lácticas y aceites esenciales o con cloruro de sodio, incluyendo mejores valores en atributos como sabor, textura y olor, según evaluaciones sensoriales realizadas por un panel de expertos. Por lo tanto, las bacterias ácido láctica representan una alternativa prometedora y segura para la bioconservación de alimentos cárnicos, ofreciendo beneficios tanto para la industria alimentaria como para los consumidores. Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la biotecnología alimentaria.

Palabras claves:

Actividad antimicrobiana, bacterias ácido lácticas, bioconservante, interacción microbiana y seguridad alimentaria.

Abstract

The antimicrobial activity of lactic acid bacteria in different types of meat products was studied to determine their potential as biopreservatives and to improve the sensory quality of these foods. The study design was based on the PICO methodology (Population/Problem, Intervention, Comparison, Outcomes) and the data were collected from scientific and academic databases between 2014 and 2024. The results demonstrate the antimicrobial activity of lactic acid bacteria against common pathogens in meat products, such as *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., and *Listeria monocytogenes*, as well as the influence of various factors such as the type of food, storage conditions, and the specific bacterial strain used. In particular, a reduction of 85 to 95% in the bacterial load of *E. coli* and *Salmonella* was observed in samples treated with lactic acid bacteria. It was identified that *Lactobacillus plantarum* is the most used in the meat industry as a pathogen inhibitor, while *Lactobacillus salivarius* showed greater potential to inhibit *L. monocytogenes* and *Salmonella* spp. (both at 10^4 CFU/g) in chicken meat under refrigeration conditions, while *Lactobacillus sakei* showed better results at slightly higher temperatures (7-20°C). Meat products showed a remarkable improvement in sensory quality when combining lactic acid bacteria treatments with essential oils or sodium chloride, including better values in attributes such as flavor, texture, and smell, according to sensory evaluations conducted by an expert panel. Therefore, lactic acid bacteria represent a promising and safe alternative for the biopreservation of meat products, offering benefits for both the food industry and consumers. This study provides a solid foundation for future research and practical applications in the field of food biotechnology.

Keywords:

Antimicrobial activity, lactic acid bacteria, biopreservative, microbial interaction, and food safety.

Lista de Tablas

Tabla 1. Especies más utilizadas como agentes biológicos para la conservación de alimentos cárnicos (Fuente: EFSA, 2020).....	19
Tabla 2. Utilización de la Metodología PICO para comparar la actividad antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de alimentos cárnicos	37
Tabla 3. Utilización de la Metodología PICO para determinar los géneros y especies de las bacterias más utilizadas como antimicrobiano contra patógenos en alimentos cárnicos.	45
Tabla 4. Utilización de la Metodología PICO para determinar los factores que influyen en la actividad antimicrobiana de las BAL en los alimentos cárnicos.....	49
Tabla 5. Utilización de la Metodología PICO para determinar el impacto de las BAL en la calidad sensorial de los alimentos cárnicos	53

Tabla de contenido

Derechos de autor	II
Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación.....	III
Aprobación del Tribunal calificador.....	IV
Dedicatoria	V
Agradecimientos	VII
Resumen	IX
Abstract.....	X
Introducción	1
CAPÍTULO I: El problema de la investigación.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Delimitación del problema	4
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Preguntas de investigación.....	5
1.5 Determinación del tema	5
1.6 Objetivo general.....	6
1.7 Objetivos específicos	6
1.8 Hipótesis (de existir)	7
1.9 Declaración de las variables (operacionalización)	7
1.10 Justificación	8
1.11 Alcance y limitaciones	9
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	12
2.1 Antecedentes.....	12
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	13
2.2.1 Bioconservación en la Industria Alimentaria	13
2.2.2 Bacterias Ácido Láctico.....	14
2.2.3 Bacterias Ácido Lácticas en Alimentos Cárnicos.....	15
2.2.3.1 Propiedades Antimicrobianas de las BAL.....	17
2.2.3.2 Mecanismos de acción de BAL.....	18
2.2.4 Géneros y Especies de las Bacterias más utilizadas como Antimicrobiano	18
2.2.5 Bacterias Ácido Lácticas Homofermentativas.....	19
2.2.6 Bacterias Ácido Lácticas Heterofermentativas.....	20

2.2.7	Bacteriocinas	20
2.2.7.1	Modo de acción de bacteriocinas.....	21
2.2.8	Impacto en la Calidad Sensorial	23
2.2.9	Interacciones de BAL con otros Microorganismos en Alimentos Cárnicos 24	
2.2.10	Actividad Antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de Alimentos Cárnicos25	
2.2.11	Factores que Influyen en la Actividad Antimicrobiana de las BAL en los Alimentos Cárnicos	26
2.2.12	Seguridad y regulación del Uso de BAL en Alimentos.....	27
2.2.13	Importancia de la Carne y Productos cárnicos en la Nutrición Humana...28	
2.2.13	Estudios Previos y Casos de Éxito.....	29
CAPÍTULO III: Diseño metodológico		30
3.1	Tipo y diseño de investigación.....	31
3.2	La población y la muestra	32
3.2.1	Características de la población	32
3.2.2	Delimitación de la población.....	32
3.2.3	Tipo de muestra	32
3.2.4	Tamaño de la muestra.....	32
3.2.5	Proceso de selección de la muestra.....	32
3.2.5.1	Criterios de elegibilidad.....	32
3.2.5.2	Búsqueda sistemática.....	33
3.2.5.3	Análisis	33
3.2.5.4	Síntesis.....	34
3.3	Los métodos y las técnicas	34
3.4	Procesamiento estadístico de la información.	35
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados.....		37
4.1	Análisis de los resultados	37
4.2	Interpretación de los resultados.....	56
4.2.1	Actividad Antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de Alimentos Cárnicos56	
4.2.2	Géneros y Especies de BAL más utilizadas como Antimicrobianos contra Patógenos en Alimentos Cárnicos	57
4.2.3	Factores que Influyen en la Actividad Antimicrobiana de las BAL en los Alimentos Cárnicos	58

4.2.4	Impacto de las BAL en la Calidad Sensorial de los Alimentos Cárnicos..	59
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones		61
5.1	Conclusiones	61
5.2	Recomendaciones	62
Bibliografía.....		63

¡Error! Marcador no definido.

Introducción

La seguridad microbiológica de los alimentos cárnicos es de suma importancia a causa del riesgo potencial en la salud del consumidor por la contaminación de microorganismos patógenos. Las bacterias ácido lácticas (BAL), son microorganismos que se encuentran en diversos ambientes, como en productos fermentados y en la microbiota intestinal, estos han sido objeto de numerosas investigaciones debido a su capacidad de inhibir microorganismos indeseables. Por tal motivo las BAL se han utilizado como una alternativa prometedora para asegurar la calidad de los alimentos cárnicos por sus propiedades antimicrobianas y su capacidad para prolongar la vida útil de la carne (Drosinos et al., 2021).

La importancia del uso de las BAL en la industria alimentaria como bioconservante está asociada principalmente con su actividad antimicrobiana y metabólica, A las bacterias ácido lácticas se las puede encontrar en alimentos ricos en azúcar la cual utilizan para la producción de ácidos orgánicos y otros metabolitos. Según varios estudios las BAL han demostrado tener la capacidad de inhibir el crecimiento de numerosos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes*, lo que contribuye significativamente a la seguridad alimentaria (Barcenilla et al., 2022). Además, se ha demostrado que la gran mayoría de las BAL tienen el estatus de "Generalmente reconocidas como seguras" (GRAS) según la Administración de Medicamentos y Alimentos de EE. UU. (FDA) (T, B. 2018).

A pesar de los beneficios potenciales que promueven las BAL, su aplicación en la industria alimentaria plantea desafíos en términos de viabilidad durante el almacenamiento y aceptación por parte del consumidor. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica para estudiar el papel de las BAL en la seguridad y calidad de los alimentos cárnicos, así como determinar la eficiencia de la actividad antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de alimentos cárnicos y analizar los principales factores que influyen en la bioconservación.

CAPÍTULO I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación causada por microorganismos no deseables representa una gran amenaza para la seguridad alimentaria a nivel global (Vallejo, 2021). En la actualidad, la preocupación por la calidad de los alimentos cárnicos almacenados y la búsqueda de alternativas naturales a los conservantes químicos, el estudio de las bacterias ácido láctica como agentes antimicrobianos cobra relevancia (Ruiz, 2019). Sin embargo, a pesar de su potencial, aún existe una falta de comprensión profunda sobre los mecanismos exactos mediante las BAL ejercen su actividad antimicrobiana en este tipo de alimentos. La falta de información limita la capacidad de comprender y aprovechar el uso de las BAL como agentes conservantes naturales. De tal motivo, es importante estudiar y comprender mejor la actividad antimicrobiana de las BAL en los alimentos cárnicos, así como los factores que influyen en su eficacia, con el fin de determinar y desarrollar estrategias más seguras y efectivas para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos cárnicos.

Por lo tanto, en el presente trabajo realizó una investigación exhaustiva de la literatura científica de los últimos 10 años sobre la actividad antimicrobiana de las BAL en los distintos tipos de alimentos cárnicos y los factores que influyen en la conservación de la carne.

1.2 Delimitación del problema

El presente estudio se concentró en la actividad antimicrobiana de las BAL en distintos tipos de alimentos cárnicos, específicamente en la inhibición de microorganismos patógenos. Se limitó a la revisión de literatura científica publicada en los últimos diez años (2014-2024) para recopilar información actualizada y relevante sobre este tema.

Se analizó los principales factores que influyen en la actividad antimicrobiana de las BAL, como los distintos tipos de alimentos cárnicos, el proceso de producción, las condiciones de almacenamiento, temperatura, pH, y tiempo de fermentación. Además, se estudiará el impacto de las bacterias lácticas en la calidad sensorial de la carne, concentrándose principalmente en los aspectos de textura, sabor y color.

El trabajo se llevó a cabo en el contexto de la industria alimentaria, con la finalidad de proporcionar información útil y actualizada que pueda ser aplicada en la industria de alimentos cárnicos para mejorar la calidad y seguridad de los productos.

1.3 Formulación del problema

La contaminación de microorganismos patógenos en los alimentos cárnicos es un problema creciente en la salud del consumidor. Se necesita de manera urgente encontrar nuevos métodos de conservación y compuestos antimicrobianos para resolver el presente problema. Algunas especies de bacterias ácido láctico han demostrado tener metabolitos con prometedora actividad antimicrobiana. Sin embargo, no hay amplia información del potencial antimicrobiano específico de las BAL ni que factores

principales influyen en la calidad sensorial del alimento cárnico mediante el empleo de las BAL. Por lo tanto, el problema de investigación se centra en identificar los últimos estudios científicos sobre las bacterias ácido lácticas y su potencial para ser usadas en la conservación de los productos cárnicos.

1.4 Preguntas de investigación

¿Cuál es el impacto de la actividad antimicrobiana de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en los alimentos cárnicos?

¿Cómo influye la incorporación de Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en la calidad sensorial de los productos cárnicos?

1.5 Determinación del tema

Tipo de estudio: Revisión sistemática de estudios experimentales.

Población: Estudios referentes a los compuestos antimicrobianos de las BAL.

Intervención: Evaluación de la actividad antimicrobiana contra microorganismos que contaminan los productos cárnicos.

Comparadores: Identificar los tipos de bacterias ácido lácticas usadas para la preservación de productos cárnicos y su efectividad.

Resultados: Propiedades antimicrobianas de las bacterias ácido lácticas, condiciones de cultivo que influyen en la efectividad de las bacterias y cambios en las características sensoriales de los productos cárnicos.

Con esta determinación del tema se especifica que:

- Se hará una revisión sistemática (y no otro tipo de estudio).
- Se incluirán artículos científicos y revisiones actualizadas.
- La población serán estudios específicamente de las bacterias ácido lácticas en productos cárnicos
- Se evaluará la actividad contra microorganismos que afectan la calidad de los productos cárnicos.
- Se comparará con otros estudios del uso de las BAL en los distintos tipos de carne.

Los resultados serán parámetros estándares que den cuenta cuantitativa de la actividad antimicrobiana de las BAL.

1.6 Objetivo general

Estudiar la Actividad Antimicrobiana de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en alimentos cárnicos.

1.7 Objetivos específicos

- Realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica sobre las propiedades antimicrobianas de las BAL en alimentos cárnicos.
- Comparar la actividad antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de alimentos cárnicos mediante búsqueda bibliográfica.
- Identificar los géneros y especies de las bacterias más utilizadas como antimicrobiano contra patógenos en alimentos cárnicos.
- Analizar los factores que influyen en la actividad antimicrobiana de las BAL en

los alimentos cárnicos.

- Investigar el impacto de las BAL en la calidad sensorial de los alimentos cárnicos, como sabor, textura y color.

1.8 Hipótesis (de existir)

Las bacterias ácido láctico posee la capacidad de inhibir microorganismos no deseados en los alimentos cárnicos.

1.9 Declaración de las variables (operacionalización)

Variable	Definición	Naturaleza	Escala de medición	Indicadores
Actividad antimicrobiana de las BAL	Estudio de la actividad antimicrobiana y sus metabolitos contra microorganismos que deterioran la carne.	Variable dependiente	Cualitativa	- Unidades formadores de colonia (UFC) o número más probable (NMP).
Análisis sensoriales	Propiedades organolépticas de la carne.	Variable dependiente	Cuantitativa	- Textura - Color - Olor - Sabor
Tipos de carne	Variedad de alimentos cárnicos evaluados	Variable independiente	Nominal	- Filete de pescado, carne bovino, carne ovino, etc.
Microorganismos	Cepas bacterianas estudiadas	Variable independiente	Nominal	- <i>Lactobacillus plantarum</i> , etc.
Factores en la conservación en los alimentos cárnicos	Factores que influyen en la actividad antimicrobiana	Variable independiente	Nominal	- Tiempo de conservación, temperatura, pH, composición del

de las BAL	alimento (proteína, grasa, carbohidrato), etc.
------------	--

1.10 Justificación

La presencia de microorganismos patógenos en los alimentos cárnicos es fundamental en el estudio de la industria alimentaria, ya que representa un gran riesgo a la salud pública por la posibilidad de enfermedades transmitidas por alimentos. Para contrapesar la problemática del presente estudio, se ha empleado distintas técnicas de conservación, entre ellos, el uso de bacterias prebióticas como las BAL, como agentes antimicrobianos naturales (Leroy & De Vuyst, 2016).

Las BAL son bacterias ampliamente estudiadas por su actividad antimicrobiana y la capacidad de producir ácido láctico, lo que le hace eficaces en la inhibición de microorganismos indeseables en los alimentos cárnicos. A pesar del extenso estudio de las BAL, aún existe áreas que requieren mayor investigación.

Uno de los temas que es fundamental en el estudio es la variabilidad en la actividad antimicrobiana de las BAL en distintos tipos de alimentos cárnicos. Aunque se ha demostrado que las BAL tienen la capacidad de inhibir la carga bacteriana en estos alimentos, es importante investigar a profundidad como la actividad antimicrobiana de las BAL varía según el tipo de carne y el proceso de producción. Además, es necesario determinar los factores que influyen en la actividad bacteriana, como las condiciones de pH, acidez, temperatura y tiempo de fermentación (Linares et al., 2017).

Además, es relevante evaluar el impacto de las BAL en la calidad sensorial de los alimentos cárnicos. Si bien se ha planteado que las BAL pueden mejorar la textura y sabor de los alimentos (Papadimitriou et al., 2016), es importante realizar más investigaciones que determinen de manera objetiva estos aspectos, así como la influencia de las BAL en el color y apariencia de los productos finales.

En este sentido, se plantea la importancia de realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica para recopilar y analizar la información disponible sobre la actividad antimicrobiana de las BAL en alimentos cárnicos. Esta revisión permitirá identificar los géneros y especies de bacterias más empleadas como agentes antimicrobianos en alimentos cárnicos, así como analizar los factores que pueden influir en la actividad antimicrobiana de las BAL.

1.11 Alcance y limitaciones

Alcances

- La revisión permitirá integrar toda la evidencia publicada de los últimos 10 años sobre el potencial antimicrobiano de las bacterias ácido láctico en los alimentos cárnicos.
- Aportará información sistematizada sobre la capacidad de inhibir microorganismos no deseados en diferentes tipos de carne.
- Evaluará la calidad del proceso de conservación de los estudios disponibles mediante herramientas estándar.
- Cuantificará los parámetros más utilizados para determinar la actividad

- antimicrobiana in vitro tales como concentración mínima inhibitoria, concentración bactericida mínima y formación de halos de inhibición.
- Podrá categorizar las principales bacterias BAL responsables de las actividades antimicrobiana.
 - Los resultados sentarán las bases para decidir si es justificable avanzar en estudios más robustos como pruebas calidad en alimentos del mar.
 - Las BAL podrían evaluarse en combinación con otros antimicrobianos para potenciar su acción en alimentos cárnicos.
 - El establecimiento de protocolos estandarizados de manipulación y conservación de los alimentos permitirá aumentar la reproducibilidad entre estudios.
 - Los resultados podrían impulsar mayor interés y apoyo para investigación en la seguridad de los alimentos cárnicos.

Limitaciones

- Dada la información limitada es posible que algunas aéreas no esté completamente estudiada.
- El análisis sobre los métodos utilizados para medir la actividad antimicrobiana de las BAL puede variar y pueden ser fundamental realizar varias pruebas para obtener resultados significativos.
- La cantidad de los estudios disponibles sobre la actividad antimicrobiana de las BAL en carnes puede ser limitadas, lo que podría afectar la exhaustividad de la revisión.
- La variación de metodología entre los últimos estudios podría arrojar datos no comparables.
- Algunos estudios primarios pueden tener limitaciones metodológicas que afecten

su calidad y su capacidad para proporcionar evidencia sólida sobre la actividad antimicrobiana de las BAL en las carnes.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

Las bacterias ácido láctico (BAL) son un grupo de bacterias, no esporuladas, generalmente Gram-positivos, que producen ácido láctico como principal producto final de la fermentación. Estos microorganismos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria debido a su capacidad antimicrobiana y conservación de los alimentos. Estudios recientes han demostrado que las BALs poseen propiedades que permiten la seguridad y calidad de los alimentos, inhibiendo una variedad de patógenos alimentarios, incluyendo la bacteria *E. coli* y *Listeria monocytogenes* (Gänzle, 2015).

El uso de las BALs en la industria alimentaria como preservación ha sido documentado desde tiempos antiguos. Fue a partir del siglo XX cuando se inició la investigación científica de su potencial antimicrobiano. En investigaciones pioneras sentaron las bases para el estudio de las BALs como bioconservantes de los alimentos. El interés en las BALs como bioconservantes ha tenido una creciente demanda como alternativa natural y segura a los conservantes químicos tradicionales. Estos conservantes químicos han sido objeto de preocupación debido a los posibles riesgos en la salud del consumidor y la creciente demanda por parte de los consumidores de los alimentos más naturales y saludables (da Costa et al., 2019). En los últimos años, el enfoque se ha ampliado para incluir no solo la preservación, sino también la mejora de la calidad sensorial de los alimentos cárnicos, como en el aroma, textura, y sabor (Leroy & De Vuyst, 2016).

La investigación sobre las BALs en los alimentos cárnicos ha evolucionado notoriamente en los últimos años. Desde sus primeras aplicaciones como bioconservantes hasta su papel actual en la mejora de la calidad sensorial de los alimentos, se ha demostrado que las BALs son una herramienta versátil y efectiva en la industria alimentaria (Leroy & De Vuyst, 2016). Sin embargo, aún existen áreas que requieren mayor investigación, como la influencia de factores ambientales en la actividad antimicrobiana de las BALs. Esta revisión bibliográfica busca contribuir en el estudio de la conservación de los alimentos mediante la recopilación y análisis crítico de la literatura científica más reciente.

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1 Bioconservación en la Industria Alimentaria

Dado el progreso tecnológico en diversos ámbitos, incluyendo la industria alimentaria, ya no se busca simplemente mantener la Seguridad Alimentaria, sino modernizarla, por lo tanto, objetivos como una limpieza sostenible, tecnología más rápida, y una mayor capacidad de respuesta ante un mercado exigente, son algunos de los desafíos que se enfrentan los mercados a nivel mundial; frente a esto, la biotecnología se presenta como la mejor respuesta, esta permite la producción de bioproductos con una ventaja significativa en la calidad alimentaria promoviendo al mismo tiempo la sostenibilidad de tecnologías emergentes, dentro de estas se encuentran la aplicación de microorganismos, plantas, entre otros para un procesamiento en alimentos (García, 2021).

De forma habitual, por años, en términos de preservación alimentaria se han

utilizados métodos físicos y químicos, que en parte han sido de utilidad para reducir riesgos, por ejemplo, los nitritos, particularmente usado en conservación de carnes para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas ha sido identificado como un factor riesgo para desarrollar cáncer gástrico a largo plazo; actualmente los consumidores se preocupan más por las características de los alimentos que consumen, contenidos bajos en sal y azúcar, libre de conservantes, siendo sinónimo de la necesidad de evolucionar en términos de biotecnología. Dentro de estas nuevas alternativas se encuentran las bacteriocinas, sustancias peptídicas, que pueden ser utilizadas en un amplio rango de alimentos como carnes, productos lácteos, mariscos, verduras, bebidas, etc., sus compatibilidades con estos además de los mecanismos de acción las hacen aptas para ser considerados herramientas de bioconservación (García, 2021).

2.2.2 Bacterias Ácido Láctico

Las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) pertenecen al filo Firmicutes y a la clase Bacilli. En su mayoría, son bacterias Gram-positivas y forman un grupo diverso que abarca unos 20 géneros, incluyendo *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Vagococcus*, *Weissella*, *Aerococcus* y *Carnobacterium*, los cuales son los más relevantes en la industria alimentaria. Las BAL tienen un bajo contenido de citosina + guanina, son tolerantes a los ácidos, no esporulantes. Usualmente inmóviles, y presentan formas de bacilos o cocos con tamaños variables y un grosor de 0,5-0,8 μm . Además, son anaerobias facultativas o microaerófilas, no tienen actividad respiratoria debido a la falta de la enzima citocromo catalasa, aunque son tolerantes al oxígeno (Granja, 2022).

Las BAL poseen características metabólicas significativas para la economía y tecnología en la Industria alimentaria, y se clasifican según su morfología, métodos de fermentación de la glucosa, crecimiento a distintas temperaturas y a la configuración del ácido láctico que producen. Debido a sus características, cuando se procesan y utilizan en conjunto, formas cultivos productores y fermentadores de ácido láctico, función que se aprovecha en la industria alimentaria para conferir propiedades únicas a diversos alimentos y protegerlos contra algunos patógenos (Londoño et al., 2015).

El crecimiento de las BAL es influenciado por varios factores como la temperatura (mesófila y termófila), las condiciones ambientales y los requerimientos nutricionales, debido que necesitan carbohidratos fermentables, aminoácidos, vitaminas del grupo B y alcoholes como fuentes de energía para la producción de ácido láctico. Se dividen en homofermentativos, que producen principalmente ácido láctico, y heterofermentativos, que producen principalmente ácido láctico, ácido acético, ácido propiónico, CO₂ y etanol (Granja, 2022).

2.2.3 Bacterias Ácido Lácticas en Alimentos Cárnicos

Las Bacterias Ácido Lácticas son utilizadas en la industria alimentaria como cultivos iniciadores para la obtención de productos fermentados y sus metabolitos se han empleado como bioconservantes naturales por su capacidad para controlar el crecimiento de bacterias patógenas y deteriorantes de los alimentos (Barcenilla et al., 2022). Las BAL son microorganismos importantes, industrialmente reconocidas por su capacidad de conservación, así como por sus beneficios de salud y nutrición, han sido utilizadas hace más de mil años en la elaboración de una gran variedad de alimentos fermentados y elaborados de forma artesanal (Zapašnik et al., 2022).

Inicialmente, se emplearon con el fin de retrasar el deterioro y conservar los alimentos mediante fermentaciones naturales. Con el tiempo, se descubrieron aplicaciones comerciales, como cultivos iniciadores para la industria láctea, cárnica, de productos vegetales elaborados y de bebidas alcohólicas. Entre estos metabolitos, destacan las bacteriocinas, que se describen como péptidos antimicrobianos de bajo peso molecular. Son estables a bajo pH, sensibles a las proteasas y termoestables, lo que los convierte en compuestos ideales para reemplazar parcialmente el uso de agentes químicos en alimentos (Woraprayote et al., 2016).

Las BAL son generalmente reconocidas como seguras y han sido ampliamente empleadas como cultivos iniciadores en la conservación industrial de productos cárnicos. Los cultivos iniciadores más utilizados son BAL homofermentativos como *Lactococcus*, *Pediococcus* y algunas especies de *Lactobacillus* que producen ácido láctico como el principal metabolito de carbohidratos dando el sabor característico y el desarrollo del sabor, así como la conservación de los productos cárnicos fermentados (Bintsis, 2018). Se ha descubierto que el uso de BAL como cultivos iniciadores reduce el tiempo de fermentación y mejora la seguridad de la mayoría de los productos alimenticios fermentados, especialmente en el procesamiento y conservación de carnes. (FAVARO, 2015).

Los alimentos cárnicos son productos muy perecederos por su propia composición nutricional y propiedades físico-químicas. Entre los principales grupos microbianos responsables de su alteración se encuentran las bacterias ácido lácticas como *Lactobacillus* spp. y *Leuconostoc* spp. los cuales producen cambios en las propiedades

organolépticas del producto (Pothakos et al., 2015). El uso de antimicrobianos químicos como los nitritos ha sido una técnica ampliamente utilizada para evitar la alteración de la carne y productos cárnicos. La creciente demanda por parte del consumidor de productos naturales y más saludables ha impulsado el estudio de antimicrobianos naturales como los aceites esenciales (Bangar et al., 2022).

2.2.3.1 Propiedades Antimicrobianas de las BAL

Las BAL pueden generar diversos compuestos antimicrobianos, como ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno y compuestos de diacetilo derivados de proteínas o péptidos. Los péptidos antimicrobianos son sustancias versátiles con mecanismos de acción complejos, similares a las hormonas animales, ya que interactúan con la membrana de las células patógenas o con objetivos internos relacionados con la síntesis de ADN, ARN o proteínas (Granja, 2022).

Existen varios modelos que describen cómo actúan estos péptidos en el metabolismo de las BAL, incluyendo la interacción inicial entre los péptidos antimicrobianos y la célula microbiana, debido a la atracción entre el péptido catiónico y la membrana bacteriana cargada negativamente, lo que forma poros en la membrana; o la inhibición de la síntesis de macromoléculas mediante un efecto sinérgico con los mecanismos inmunes innatos del huésped. Por lo tanto, los compuestos antimicrobianos no actúan de manera aislada, y las estrategias multifactoriales resultan ser más efectivas para la conservación de alimentos cárnicos (Linares et al., 2018).

2.2.3.2 Mecanismos de acción de BAL

La conservación de alimentos a partir de las BAL, es decir, la inhibición de microorganismos con potencial patógeno, se da por los productos finales de la fermentación, producidos en grandes cantidades gracias a las variedades de carbohidratos que pueden fermentar, así como a los cambios de pH a los que pueden resistir. El ácido láctico, ácido acético, peróxido de hidrógeno, y por supuesto las bacteriocinas.

La actividad antimicrobiana de estas bacterias se fundamenta en la capacidad altamente oxidante del peróxido de hidrógeno, que puede provocar la peroxidación de los lípidos de la membrana y, por ende, la destrucción de la estructura de proteínas celulares, por otros compuestos como el diacetilo, que es capaz de desactivar enzimas microbianas por bloqueo o modificación de la zona catalítica (Granja, 2022).

2.2.4 Géneros y Especies de las Bacterias más utilizadas como Antimicrobiano

Los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Carnobacterium*, *Pediococcus*, y *Leuconostoc* son las BAL más comúnmente empleados para retrasar el deterioro y conservación de los alimentos de forma natural. Los cuales se han aislado a partir de granos, plantas verdes, productos lácteos y productos cárnicos, fermentación de verduras y las especies mucosas de los animales. Estos microorganismos producen diferentes sustancias con características antimicrobianas. La capacidad de producir grandes cantidades de ácido acético y ácido láctico por fermentación de los carbohidratos presentes y la consecuente caída del pH son los factores primarios en los que se basa la actividad antimicrobiana de las BAL (Jami, 2014).

Tabla 1. Especies más utilizadas como agentes biológicos para la conservación de alimentos cárnicos (Fuente: EFSA, 2020).

<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>Carnobacterium divergens</i>	<i>Lentilactobacillus hilgardii</i>
<i>Lactobacillus curvatus</i>	<i>Lactobacillus kefiranofaciens</i>	<i>Lactococcus lactis</i>
<i>Lactobacillus helveticus</i>	<i>Leuconostoc cítrico</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>
<i>Lactobacillus gasseri</i>	<i>Leuconostoc lactis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
<i>Lactobacillus gallinarum</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Streptococcus termófilo</i>
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	<i>Lactobacillus johnsonii</i>
<i>Lactobacillus amylovorus</i>	<i>Lactobacillus amyolyticus</i>	<i>Lactobacillus sakei</i>
<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	<i>Lacticaseibacillus casei</i>
<i>Carnobacterium maltaromaticum</i>	<i>Leuconostoc gelidum</i>	<i>Lactobacillus brevis</i>

2.2.5 Bacterias Ácido Lácticas Homofermentativas

La acumulación de ácido láctico y otros ácidos en un ambiente específico, se traduce en una reducción del pH, útil para causar un efecto inhibitorio en bacterias Gram positivas como Gram negativas. La forma no disociada del ácido láctico tiene facilidad para penetrar en la membrana celular, causando la liberación de iones Hidrógeno y el anión correspondiente de modo que ambos iones interfieren e inhiben el crecimiento celular (Von Wright & Axelsson, 2019).

2.2.6 Bacterias Ácido Lácticas Heterofermentativas

El peróxido de hidrógeno, que causa la liberación de iones hidroxilo, precursores de la peroxidación de lípidos de la membrana y así mismo la susceptibilidad de la célula microbiana en cuestión. De la misma manera el Dióxido de Carbono (CO₂), producto final propio de este tipo de fermentación de glucosa; promueve un ambiente anaerobio, acompañado de un pH bajo, que no es propicio para el crecimiento de algunos microorganismos, ya que interfiere en la integridad de su pared celular (Von Wright & Axelsson, 2019).

2.2.7 Bacteriocinas

Las bacteriocinas de estructura tipo péptido o proteína, tienen un alto efecto bactericida sobre receptores específicos de la célula, la composición química de estas sustancias es altamente variada, sin embargo, su modo de acción muy específico, se ha conocido su actividad antimicrobiana contra patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp, todos estos de importancia en la microbiología alimentaria (Alvarez et al., 2016).

Las bacteriocinas son péptidos con actividad antimicrobiana y representan un sustituto potencial de conservantes químicos, debido a que son producidas en su mayoría por BAL. El uso de las bacteriocinas como bioconservantes se atribuye a sus características como inhibir numerosos microorganismos patógenos, su acción en amplios rangos de pHs y termoestabilidad, proponiendo diferentes aplicaciones de las bacteriocinas en alimentos, ya sea en forma concertada, en algún sustrato de grado alimentario o agregando la bacteriocina a un soporte, actuando este como reservorio y difusor del péptido antimicrobiano concentrado a la comida. La mayoría de las

bacteriocinas afectan a las células sensibles al actuar sobre su membrana, provocando su desestabilización y permeabilización. Esto se logra mediante la formación de canales o poros iónicos que permiten la salida de compuestos como fosfato, potasio, aminoácidos, ATP, a lo que resulta en una disminución de la síntesis de macromoléculas y por ende la muerte celular (Ramirez, 2022).

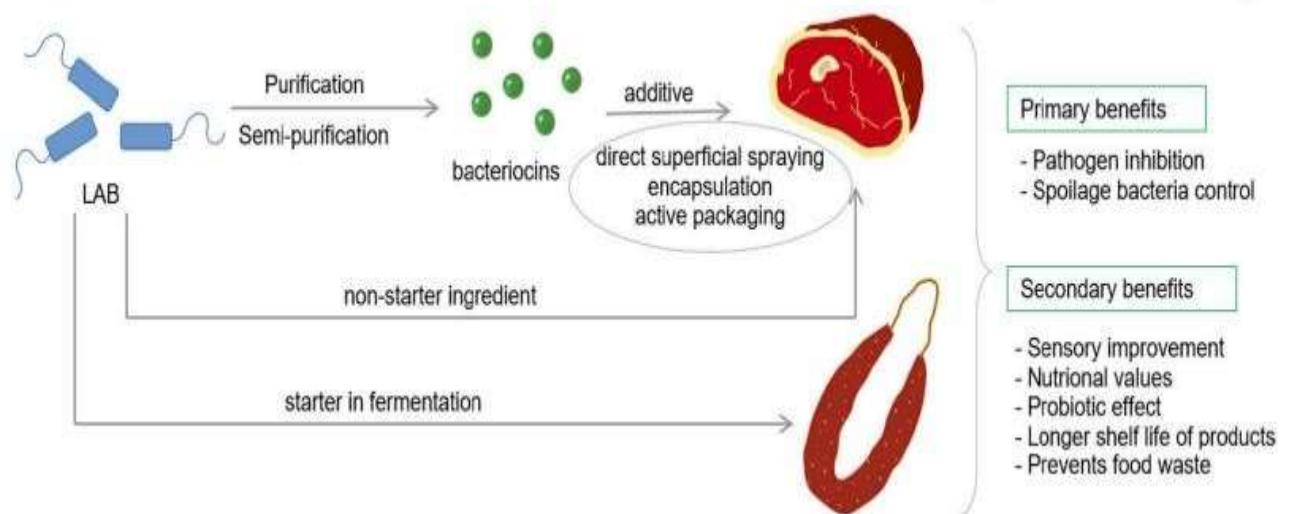


Figura. 1. Aplicación de las BAL en productos cárnicos para conseguir diversos beneficios relacionados con la inhibición de bacterias indeseables o mejoras en el producto final (Fuente: Coral et al., 2022).

2.2.7.1 Modo de acción de bacteriocinas

El funcionamiento de las bacteriocinas se encuentra ligado a su estructura primaria. Algunas de estas sustancias pueden afectar la membrana citoplasmática de las bacterias sensibles, liberando compuestos esenciales y causando la lisis celular. Otras ingresan al citoplasma y alteran la expresión genética y la síntesis de proteínas. Su acción puede ser directa sobre la membrana o a través de receptores específicos en las células diana, formando poros en la membrana bacteriana y ocasionando la muerte celular (Woraprayote et al., 2016).

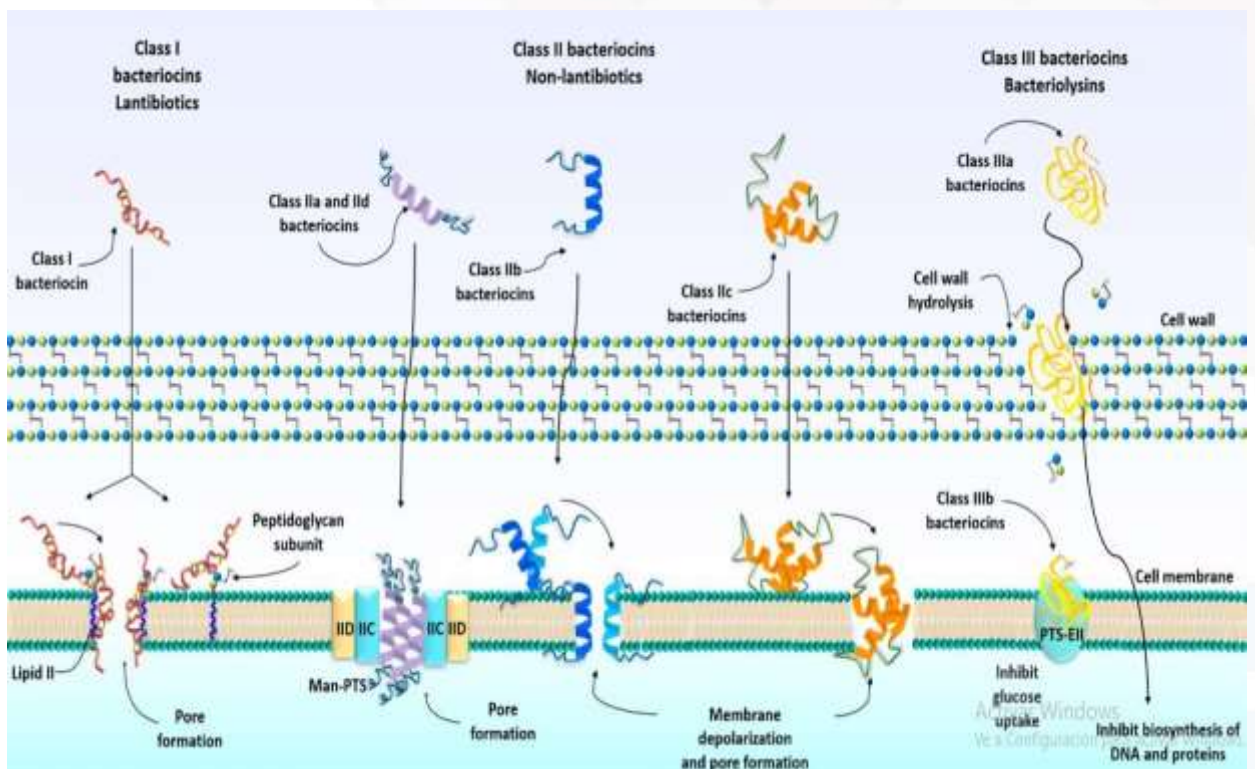


Figura 2. Modo de acción de bacteriocinas (Fuente: Hernández et al., 2021).

Los lantibióticos, una clase de bacteriocinas (clase I), tienen un doble modo de acción. Primero, interfieren con la biosíntesis de la pared celular bacteriana uniéndose al lípido II, un componente crucial del peptidoglicano, comprometiendo así la viabilidad celular. También utilizan este lípido II para iniciar la formación de poros en la membrana bacteriana. Otras bacteriocinas, como las similares a pediocina y las monopéptidos, se unen a subunidades específicas de permeasa en las bacterias diana, causando la apertura irreversible de canales intrínsecos en la membrana y provocando la muerte celular (Hernández et al., 2021).

Las bacteriocinas de clase II, formadas por dos péptidos no modificados, permeabilizan la membrana de bacterias susceptibles y forman poros específicos para

cationes monovalentes como Na⁺, K⁺, Li⁺, Cs⁺ y Rb⁺. Las bacteriocinas circulares, con carga neta positiva, interactúan directamente con la membrana bacteriana cargada negativamente, formando poros que provocan la salida de iones y la disipación del potencial de membrana, lo que lleva a la muerte celular (Hernández et al., 2021).

Las bacteriocinas (clase III) catalizan la hidrólisis de la pared celular, causando la lisis celular, mientras que las bacteriocinas no bacteriolíticas alteran la absorción de glucosa por las células, provocando inanición y cambios en el potencial de membrana. Otro mecanismo es la inhibición de la biosíntesis de ADN y proteínas en las bacterias objetivo (Hernández et al., 2021).

2.2.8 Impacto en la Calidad Sensorial

Las BAL han sido ampliamente estudiadas por su capacidad para mejorar la conservación y calidad sensorial de los alimentos cárnicos. Su papel en la bioconservación y su impacto en las propiedades organolépticas de la carne han sido objeto de numerosos estudios en los últimos años. Las BAL influyen significativa en la aroma y sabor de los alimentos cárnicos mediante la producción de compuestos volátiles como ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes y cetonas. Estos compuestos son responsables del cambio sensoriales característicos de productos fermentados como embutidos y salchichones (Gandhi & Shah, 2014).

La fermentación de las BAL también genera cambios en la textura, mejorando los productos cárnicos. La actividad enzimática de las BAL contribuye a la degradación de proteínas y lípidos, resultando en una textura más tierna y jugosa (Talpur, 2014). En cuanto al color, la fermentación de las BAL también influye en la estabilidad del color

rojo característico de la carne por la producción del ácido láctico y otros metabolitos, previniendo la oxidación de la mioglobina (Zhou et al., 2014).

2.2.9 Interacciones de BAL con otros Microorganismos en Alimentos Cárnicos

Las BAL interactúan de distintas maneras con otros microorganismos presentes en los alimentos cárnicos, de forma sinérgica, competitiva o antagonista. Estas bacterias compiten con otros microorganismos patógenos y alterantes por nutrientes esenciales. Esta competencia es una de los principales mecanismos a través de los cuales las BAL inhiben el crecimiento de microorganismos no deseadas. En un estudio, se observó que *Lactobacillus sakei* compete eficazmente contra *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos, reduciendo significativamente su proliferación (Bassi et al., 2015).

Las bacteriocinas producidas por la bacteria *Lactobacillus plantarum* permiten la inhibición de otros microorganismos, teniendo un espectro de acción que abarca desde bacterias Gram-positivas hasta Gram-negativas, demostrando una fuerte actividad inhibidora contra patógenos como *Staphylococcus aureus* en productos cárnicos (Diop et al., 2018).

La fermentación de las BAL permite la reducción de pH del alimento y crea condiciones desfavorables para muchos patógenos y bacterias alterantes. Un pH bajo, junto con la producción de otros ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno y compuestos volátiles, permite la inhibición de microorganismos como *Escherichia coli* y *Salmonella* (Keller et al., 2014). Además, Las BAL generan biofilms, estructuras multicelulares que pueden protegerlas y permitir una interacción más eficiente con otros microorganismos no deseados. Los biofilms de las BAL pueden incluir múltiples especies bacterianas,

creando una comunidad microbiana que puede excluir a patógenos y bacterias alterantes (Ren et al., 2019).

En algunos casos, las BAL suelen tener interacciones sinérgicas con otros microorganismos beneficiosos. Por ejemplo, la co-cultivación de las BAL con levaduras puede mejorar la calidad sensorial y la vida útil de los productos cárnicos fermentados. La combinación de *Lactobacillus sakei* y *Debaryomyces hansenii* mejora el sabor y la textura de salchichones fermentados (Benito et al., 2016).

2.2.10 Actividad Antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de Alimentos

Cárnicos

La eficacia antimicrobiana de las BAL varía según el tipo de producto cárnico y las condiciones específicas de procesamiento y almacenamiento. En productos cárnicos fermentados como salchichones y chorizos, las BAL son esenciales tanto para la fermentación como para la conservación. Los metabolitos que producen las BAL, principalmente ácido láctico, que reducen el pH del producto, crea un ambiente inhóspito para microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes* y *Salmonella* (Leroy & De Vuyst, 2016). Además, las bacteriocinas producidas por BAL, como la sakacina y la pediocina, han demostrado ser efectivas contra una amplia gama de bacterias indeseables (Hu et al., 2016).

En carnes frescas y refrigeradas, las BAL son utilizadas como cultivos protectores para prolongar la vida útil y mejorar la seguridad microbiológica. La aplicación de *Lactobacillus sakei* en carnes frescas reduce significativamente el crecimiento de *Pseudomonas* spp. y Enterobacteriaceae, dos grupos de bacterias asociados con el

deterioro de la carne (Spano et al. 2014). En productos cárnicos cocidos, como el jamón y las salchichas cocidas, también se benefician de la actividad antimicrobiana de las BAL. La adición de *Lactobacillus curvatus* en productos cárnicos cocidos no solo mejora la seguridad microbiológica al inhibir patógenos como *Clostridium perfringens*, sino que también contribuye a mantener la calidad sensorial del producto durante el almacenamiento (Aymerich et al., 2019).

En productos cárnicos curados, como el jamón serrano y el bacon, las BAL juegan un papel en la prevención del crecimiento de bacterias halófilas y psicrotróficas. En estudios sobre cepas específicas de *Lactobacillus plantarum* pueden inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* en condiciones de alto contenido de sal, típicas de los productos curados (Hammes y Hertel 2015).

2.2.11 Factores que Influyen en la Actividad Antimicrobiana de las BAL en los Alimentos Cárnicos

La actividad antimicrobiana de las BAL depende en gran medida de la cepa específica utilizada. Diferentes cepas de BAL producen diversos compuestos antimicrobianos que tienen distintas eficacias contra microorganismos específicos. Por ejemplo, *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus sakei* son conocidas por su alta producción de bacteriocinas con una amplia gama de actividad antimicrobiana (Castellano et al., 2017).

El pH es un factor crítico que afecta la actividad antimicrobiana de las BAL. La producción de ácido láctico y otros ácidos orgánicos por las BAL reduce el pH, creando condiciones desfavorables para muchos patógenos y bacterias alterantes. La actividad del

agua (a_w) también juega un papel importante, ya que un menor a_w limita el crecimiento microbiano. La combinación de un pH bajo y una actividad del agua reducida es particularmente efectiva en productos cárnicos fermentados y curados (Leroy & De Vuyst, 2016).

La temperatura a la que se almacenan los alimentos cárnicos también influye significativamente en la actividad antimicrobiana. Las bajas temperaturas de refrigeración pueden reducir la velocidad de crecimiento de las BAL, así como de los patógenos. Sin embargo, algunas BAL, como *Lactobacillus sakei*, son capaces de crecer a temperaturas de refrigeración y ejercer su efecto protector (Dogan & Erkmen, 2019). Además, la presencia de sal y nitritos en los alimentos cárnicos afectan la actividad antimicrobiana de las BAL. La sal, en concentraciones adecuadas, puede potenciar la actividad antimicrobiana al reducir la actividad del agua y favorecer la producción de compuestos antimicrobianos por las BAL. Los nitritos, además de su función conservante, pueden interactuar con las BAL para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *Clostridium botulinum* (Lorenzo et al., 2015).

2.2.12 Seguridad y regulación del Uso de BAL en Alimentos

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE. UU. (FDA) son dos de las principales agencias que llevan a cabo evaluaciones de la seguridad alimentaria. En los Estados Unidos, muchas BAL se consideran "Generalmente Reconocidas como Seguras" (GRAS) según la FDA. Este estatus se otorga después de una evaluación exhaustiva de la literatura científica y de la experiencia histórica de uso seguro en alimentos. En Europa, un estatus similar es el de "Presunción Cualificada de Seguridad" (QPS) otorgado por la EFSA.

Estas designaciones facilitan el uso de BAL en la industria alimentaria al proporcionar una base de seguridad establecida (EFSA, 2017).

2.2.13 Importancia de la Carne y Productos cárnicos en la Nutrición Humana

La carne y los derivados cárnicos han formado parte de la alimentación humana desde hace muchos años. España es uno de los países con mayor tradición de elaboración y uso culinario de carne y sus derivados. El consumo de productos cárnicos está condicionado por diversos factores como los socioeconómicos, éticos, religiosos y tradicionales. Dentro de estos, las características organolépticas (color, sabor, textura, olor) de los alimentos juegan un papel muy importante en su aceptación (De Smet, S., & Vossen, E. 2016).

La salud es uno de los elementos más valorados por parte del consumidor. Una dieta saludable debe ser satisfactoria, suficiente, completa, equilibrada, armoniosa, segura, adaptada, sostenible y asequible. Aunque existen diversas opciones para lograr una alimentación saludable, la incorporación de carne desempeña un papel crucial en la nutrición y el desarrollo humano. Desde el punto de vista nutricional aporta una buena cantidad de proteínas, vitaminas, minerales y lípidos. En cuanto a los macronutrientes, se destaca por ser una fuente proteica excelente, ya que contiene entre 15 y 23 gramos de proteína por cada porción de carne cruda (100 gramos). Es importante resaltar, la elevada calidad de dichas proteínas siendo de alto valor biológico, es decir, aquellas que contienen todos los aminoácidos esenciales para el ser humano (Basulto, 2013).

2.2.13 Estudios Previos y Casos de Éxito

En España, la empresa Embutidos Fermín ha implementado con éxito el uso de BAL en su línea de productos cárnicos. Según un estudio de empresa realizado en 2016, la incorporación de cepas de *Lactobacillus sakei* y *Lactobacillus curvatus* en chorizos y salchichones fermentados resultó en una reducción del 99% en la presencia de patógenos sin afectar negativamente el sabor o la textura del producto. Este caso de éxito ha llevado a la empresa a adoptar el uso de BAL en toda su línea de productos fermentados (Embutidos Fermín, 2016).

En Argentina, la empresa Carnes Argentinas S.A. reportó un notable éxito en la prolongación de la vida útil de sus productos cárnicos frescos mediante el uso de *Lactobacillus plantarum*. Un informe de la empresa en 2017 indicó que la vida útil de los productos frescos se extendió de 7 a 14 días, permitiendo una distribución más amplia y reduciendo el desperdicio de alimentos. Los resultados fueron tan positivos que la empresa planea expandir el uso de BAL a otros productos (Carnes Argentinas S.A., 2017).

Recientemente, se han desarrollado nuevas cepas de BAL con propiedades antimicrobianas mejoradas. En una investigación se presentó una cepa de *Lactobacillus rhamnosus* con capacidad para producir bacteriocinas de amplio espectro, que fueron efectivas contra múltiples patógenos alimentarios (García et al., 2019). Esta innovación representa un avance significativo en la biotecnología alimentaria, ofreciendo nuevas herramientas para la bioconservación.

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

La estructura PICO (Población, Intervención, Comparación, Resultados) es una herramienta útil que permite definir y estructurar preguntas de investigación clínica y en la búsqueda de evidencia científica, especialmente en el campo de la biotecnología alimentaria (Pico, 2024). El esquema PICO sirve para concentrarse en los elementos esenciales que se desean explorar: la población de interés, la intervención o exposición principal, la comparación con otros grupos o alternativas, y los resultados que se van a evaluar (Pico, 2024). Esta organización de la pregunta orienta el proceso de búsqueda sistemática de pruebas.

Actualmente, la metodología PICO ha sido reconocida como una estrategia fundamental para la formulación de preguntas de investigación y la búsqueda de evidencia científica en diversas disciplinas. La claridad y especificidad que proporciona el método PICO permite una búsqueda más eficiente y efectiva de la literatura científica, mejorando la relevancia y calidad de los estudios seleccionados. Esto es especialmente relevante en la biotecnología en la industria alimentaria, donde la evidencia científica sólida es crucial para desarrollar y validar nuevas tecnologías y productos (Huang et al., 2016).

La metodología PICO permite una evaluación más rigurosa de la evidencia disponible, asegurando que los estudios incluidos en una revisión sistemática sean de alta calidad y pertinentes para la pregunta de investigación. En la biotecnología facilita la identificación de estudios relevantes que examinan el impacto de intervenciones específicas, como la utilización de las BAL, como bioconservantes en alimentos cárnicos (Li et al., 2020).

Además, la metodología PICO ayuda a estructurar de manera clara y coherente la presentación de resultados de investigación. Esto no solo facilita la comprensión y comparación de los hallazgos entre estudios, sino que también promueve la transparencia y reproducibilidad en la investigación científica. El uso de PICO en la redacción de manuscritos científicos mejora la calidad de la comunicación científica, permitiendo a los lectores evaluar críticamente la validez y aplicabilidad de los resultados (Murad et al., 2016).

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la literatura siguiendo el enfoque metodológico PICO:

P (Población): Productos cárnicos frescos y procesados (susceptibles a la degradación microbiológica).

I (Intervención): Aplicación de Bacterias Ácido Lácticas (BAL) como bioconservantes para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y mejorar la calidad sensorial de los alimentos cárnicos.

C (Comparación): Evaluación de la eficacia de las BAL en comparación con otros métodos de conservación, como el uso de conservantes químicos tradicionales o la ausencia de intervención.

O (Resultados): Eficacia en la inhibición del crecimiento microbiano, impacto en la calidad sensorial (sabor, textura, apariencia), vida útil del producto, y seguridad alimentaria.

3.2 La población y la muestra

3.2.1 Características de la población

Tipos de alimentos cárnicos y presentaciones (frescos, procesados, curados) de consumo humano.

3.2.2 Delimitación de la población

La población objetivo de esta revisión sistemática está conformada por estudios que hayan evaluado la actividad antimicrobiana de las bacterias ácido láctico en alimentos cárnicos.

3.2.3 Tipo de muestra

Artículos científicos, libros, informes técnicos, y otros documentos relevantes que hayan sido publicados en los últimos 10 años sobre el tema de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) como bioconservantes en alimentos cárnicos.

3.2.4 Tamaño de la muestra

Fuentes bibliográficas disponibles y acordes a los criterios de elegibilidad relacionados sobre la actividad antimicrobiana de las BAL en alimentos cárnicos entre los años 2014-2024.

3.2.5 Proceso de selección de la muestra

3.2.5.1 Criterios de elegibilidad

Se aplicó los siguientes criterios de elegibilidad:

Criterios de inclusión:

- Estudios que evaluaron la actividad antimicrobiana de bacterias ácido láctico en alimentos cárnicos.

- Estudios que informen los efectos de las bacterias ácido láctico en la calidad sensorial, análisis microbiológico y vida útil de los alimentos cárnicos.
- Estudios publicados en los últimos 10 años.
- Idiomas: inglés y español.

Criterios de exclusión:

- Revisiones narrativas, editoriales o cartas al editor.
- Estudios de otros tipos de alimentos que no es de origen cárnico.
- Estudios sin datos originales.
- Estudios con errores metodológicos significativos.

3.2.5.2 Búsqueda sistemática

Se llevó a cabo búsquedas sistemáticas en una variedad de bases de datos, que incluyen PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, ProQuest Central, Springer Link, Wiley Online Library y Google Scholar. Estas búsquedas se realizaron utilizando ecuaciones de búsqueda que incluyan operadores booleanos y los conceptos clave de la pregunta PICO. Posteriormente, se aplicó criterios de elegibilidad para seleccionar la evidencia que conformará la base final de análisis.

3.2.5.3 Análisis

La metodología PICO es un enfoque de investigación diseñado para obtener información detallada sobre un tema específico. Este método, que deriva de las palabras Población, Intervención, Comparación y Resultados, se utiliza para transformar una pregunta amplia en una pregunta específica y concreta. Las preguntas formuladas con el método PICO actúan como un filtro que va desde lo general hacia lo particular.

Al utilizar la estructura PICO, los investigadores pueden formular preguntas

específicas como "¿La aplicación de BAL en productos cárnicos frescos reduce de manera significativa la carga de microorganismos patógenos en comparación con los conservantes químicos tradicionales?" o "¿Cuál es el efecto de las BAL en la calidad sensorial de los alimentos cárnicos durante su almacenamiento?" Estas preguntas bien definidas permiten una búsqueda más eficiente de evidencia científica relevante y una evaluación más precisa de los resultados obtenidos en los estudios revisados. El objetivo principal de las preguntas formuladas con el método PICO es recopilar información precisa sobre el tema del presente estudio. Este enfoque se utiliza comúnmente en investigaciones en el campo de la ciencia de la salud y en la realización de revisiones sistemáticas.

3.2.5.4 Síntesis

Los resultados se presentaron a través de tablas, en base de la metodología PICO. Además, se llevó a cabo un análisis exhaustivo, resaltando los compuestos que mostraron un mayor potencial antimicrobiano.

3.3 Los métodos y las técnicas

Se realizó una revisión sistemática sobre la actividad antimicrobiana de las bacterias ácido láctica como bioconservantes en alimentos cárnicos, se utilizaron las bases de datos científicos y académicas mencionadas de la siguiente manera:

1. Se crearon fórmulas de búsqueda empleando operadores booleanos y de proximidad, los cuales incluían los conceptos clave pertinentes al tema en cuestión en cada base de datos.
2. Los resultados de las búsquedas fueron sometidos a los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos para determinar qué estudios formarían parte

- de la base de evidencia.
3. Los estudios previamente seleccionados fueron examinados minuciosamente para extraer los datos cuantitativos y cualitativos más relevantes, como los compuestos evaluados, la actividad antimicrobiana de las BAL, el mejoramiento de la calidad sensorial, entre otros, y se presentaron en una tabla comparativa.
 4. La información se organizó en tablas y gráficos con el fin de facilitar la identificación de tendencias y patrones en los resultados.
 5. Se desarrolló un análisis integral examinando detenidamente los compuestos más prometedores y las principales áreas de investigación en progreso y en desarrollo.
 6. Las conclusiones fueron redactadas resaltando la actividad antimicrobiana de las BAL que demostraron un mayor potencial conservante, y se ofrecieron recomendaciones específicas para la continuación de estudios.

3.4 Procesamiento estadístico de la información.

La evaluación de la información sobre la actividad antimicrobiana de las BAL en alimentos cárnicos, se utilizó el método PICO para estructurar la revisión y evaluar los estudios. La población incluyó alimentos cárnicos susceptibles a la degradación microbiológica, la intervención se centró en la aplicación de las BAL como agentes bioconservantes, la comparación se hizo con métodos tradicionales de conservación, y los resultados evaluaron la eficacia antimicrobiana y el impacto en la calidad sensorial.

El proceso de selección de estudios se siguió las directrices en base al método PICO, comenzando con una búsqueda exhaustiva en bases de datos como PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Scopus y Wiley Online Library. Se identificaron y se

evaluaron estudios relevantes publicados entre 2014 y 2024, aplicando criterios de inclusión como la relevancia para el tema y la calidad de la revisión por pares, y criterios de exclusión para descartar estudios duplicados o no pertinentes. Los datos cualitativos se analizaron utilizando métodos de análisis temático y de contenido para identificar y analizar temas recurrentes en la literatura, proporcionando una visión comprensiva del estado actual de la investigación y sus implicaciones para la bioconservación de los alimentos cárnicos.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de los resultados

Se llevó a cabo una búsqueda en bases de datos indexadas de publicaciones entre 2014 y 2024, enfocada en la actividad antimicrobiana de las Bacterias Ácido Lácticas en la industria alimentaria, especialmente en alimentos cárnicos. El objetivo era analizar el conocimiento disponible sobre estas bacterias como agentes bioconservantes. Inicialmente, la búsqueda se realizó usando el término "Bacterias ácido láctico", y se aplicaron filtros de fecha para incluir únicamente artículos de investigación publicados en revistas científicas revisadas por pares en los últimos diez años.

Se efectuó una búsqueda sistemática utilizando las palabras clave 'bacterias ácido láctico', 'antimicrobiano' y 'bioconservación' con el propósito de encontrar artículos científicos que se enfocaran en las propiedades antimicrobianas de las BAL en alimentos cárnicos. Esta búsqueda resultó en 52 publicaciones que cumplían con los criterios establecidos (Figura 3).

Estos estudios fueron examinados minuciosamente para extraer los datos más significativos, los cuales se consolidaron en una tabla resumen (Tabla 2). La tabla incluye información sobre el autor principal, el año de publicación, agente bioconservante evaluado y los principales hallazgos relacionados con la actividad antimicrobiana reportada.

Tabla 2. Utilización de la Metodología PICO para comparar la actividad antimicrobiana

de las BAL en diferentes tipos de alimentos cárnicos.

P (Población)	I (Intervención)	C (Comparación)	O (Resultados)	Autores
Carne molida de res	<i>Lactobacillus reuteri</i> y <i>L. plantarum</i> con extracto de ajo.	Se comparó la eficiencia de inhibición de patógenos como <i>L. monocytogenes</i> en carne molida.	<i>L. reuteri</i> indujo una reducción de 0,5 log; <i>L. plantarum</i> indujo una reducción de 0,7 log. La combinación de extracto de ajo (1%) con <i>L. reuteri</i> dio como resultado una reducción de 1,4 log. La combinación de extracto de ajo (1%) con <i>L. plantarum</i> dio como resultado una reducción de 1,5 log.	(Khalili et al., 2019)
Embutido	Bacteriocina de <i>P. acidilactici</i>	Sin comparador claro	Los recuentos de <i>L. monocytogenes</i> disminuyeron en 3,3 log UFC/g durante el período de maduración de 8 días. Los valores de pH para las muestras con <i>P. acidilactici</i> disminuyeron de	(Barcenilla et al., 2022).

			5,5 a 4,9.	
Carne de pollo	<i>Lactobacillus salivarius</i>	Se comparó la eficacia de reducción de <i>Salmonella spp.</i> y <i>L. monocytogenes</i> en la carne de pollo.	Reducción de <i>Salmonella spp.</i> en carne de pollo fue de hasta 0,5 y para <i>L. monocytogenes</i> de hasta 0,7 log UFC/cm ²	(Sakaridis et al., 2014)
Carne de cerdo	<i>L. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> I23 y <i>L. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> E91	Se comparó las actividades antimicrobianas de <i>L. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> I23 y <i>L. lactis</i> subsp. <i>lactis</i> E91, contra <i>Brochothrix thermosphacta</i> durante el almacenamiento a 30°C por 168 h.	Reducción de Enterobacteriaceae, no detección de <i>Staphylococcus sp.</i> y <i>B. thermosphacta</i> a partir de 48 h en muestras con cepa I23. Los cultivos mixtos fueron más efectivos que cuando se usaron individualmente.	(Olaoye et al., 2015)
Carne refrigerada	<i>Lactobacillus sp.</i> y <i>L. brevis</i>	Se comparará con dos tratamientos para determinar su capacidad para inhibir el crecimiento de <i>Y. enterocolitica</i> a temperaturas de refrigeración	<i>Y. enterocolitica</i> se redujo a 4,9 log UFC/ml con el uso de <i>Lactobacillus sp.</i> y 4,4 log UFC/ml con <i>L. brevis</i> el día 28 de almacenamiento a 4 °C. La inhibición fue mayor a medida que se prolongó el período de	(Angmo et al., 2016)

			incubación.	
Jamón	<i>P. pentosaceus</i> y nisina	Se comparó la eficiencia de inhibición de patógenos como <i>L. seeligeri</i> en muestras tratadas con <i>P. pentosaceus</i> y con Nisaplin.	Las bacteriocinas de <i>P. pentosaceus</i> obtuvo halos de inhibición más grandes (recuentos desde 1,7 log UFC/g hasta por debajo del límite de detección) que en muestras tratadas con Nisaplin	(de Azevedo et al., 2020)
Salchicha fermentada tailandesa	<i>L. plantarum</i>	Se comparó el uso de <i>L. plantarum</i> y el uso de Sacarosa (0,3% y 1,2%) sobre la calidad del embutido tailandés.	Los recuentos microbianos totales y los recuentos de BAL aumentaron rápidamente durante la fermentación a 30 °C y luego disminuyeron durante el almacenamiento a 4 °C.	(Hongthong et al., 2020)
Carne molida de pavo	Bacteriocina BacFL31 parcialmente purificada de <i>E. faecium</i>	Se comparó el efecto de la bacteriocina BacFL31 semipurificada a 200 y 400 AU/g sobre la vida útil de la carne de pavo molida	A 200 AU/g, la bacteriocina extendió la vida útil hasta 10 días, y a 400 AU/g hasta 14 días. Después de 30 h, <i>L. monocytogenes</i> y	(Chakchouk-Mtibaa et al., 2017)

		cruda refrigerada.	<i>Salmonella</i> spp. los recuentos se redujeron en 3 log.	
Carne de res picada	Aceite esencial de <i>Mentha piperita</i> con bacteriocina semipurificada BacTN635.	Se comparó la eficacia del uso del aceite esencial de <i>M. piperita</i> con BAL (<i>L. plantarum</i> TN635) a diferentes concentraciones	Reducción de 2,1 log a 2,6 log dependiendo de la concentración de aceite esencial y la concentración de BACTN635. Ampliación de la vida útil por 7 días aprox.	(Smaoui et al., 2016)
Carne en rodajas	Bacteriocina parcialmente purificada de <i>C. maltaromaticum</i> combinada con vapor y quitosano	Se evaluó la eficacia de <i>C. maltaromaticum</i> y quitosano de alto peso molecular en la inactivación de <i>E. coli</i> AW1.7 y <i>S. Typhimurium</i> en carne de res.	Demostró una mayor actividad antibacteriana contra <i>E. coli</i> and <i>S. Typhimurium</i> con el uso de la BAL que el quitosano soluble en agua.	(Hu et al., 2019)
Carne de res fresca	Lactococin BZ	Se comparó muestras de carne de res fresca con y sin lactococina BZ (bacteriocina producida por <i>L. lactis</i> spp. <i>lactis</i> BZ a 200-2500 AU/mL)	La lactococina BZ a 2500 AU/ml dio como resultado una disminución de 4,9 log en bacterias mesófilas, y una reducción de 3,5 log en bacterias psicotróficas. Además, en una reducción de	(Yildirim et al., 2016)

			1,9·10 ⁴ UFC/g de coliformes y de 1,04·10 ² UFC/g de coliformes fecales.	
Salchicha de ternera	Bacteriocinogenic <i>E. mundtii</i> y agentes curantes (3% NaCl, 0.02% NaNO ₂ , 0.0075% ácido ascórbico, 0.75% sacarosa y 0.75% glucosa)	Se evaluó el efecto de los agentes curantes de carne sobre la actividad bioprotectora de la cepa bacteriocinógena <i>E. mundtii</i> CRL35 contra <i>Listeria monocytogenes</i> durante la fermentación de la carne.	En competencia con <i>E. mundtii</i> , <i>L. monocytogenes</i> muestra una ligera disminución a las 96 h (0,7 UFC/g). Cuando <i>E. mundtii</i> se combinó con aditivos de curado, alcanzó una reducción >2 log UFC/g.	(Orihuel et al., 2018)
Salchicha turca fermentada seca	Cepas de <i>L. plantarum</i> (productoras de bacteriocinas/compuestos similares a bacteriocinas)	En el grupo control se observó un ligero aumento en el recuento de <i>L. monocytogenes</i> , mientras que con las cepas de <i>L. plantarum</i> se registró una reducción significativa.	La diferencia entre los recuentos de patógenos inicial y final para los ensayos con <i>L. plantarum</i> S50, S51, S72, S74 y S85 fue de 2,7, 2,4, 1,0, 1,4 y 1,2 log, respectivamente.	(Kamiloglu et al., 2019)
Filete de tilapia	<i>L. plantarum</i>	Se comparó el uso de la bacteria <i>L. plantarum</i> con diferentes concentraciones de	El uso de <i>L. plantarum</i> logró extender la vida útil de la carne de tilapia. E inhibió	(Granja, 2022)

		cloruro de sodio (10, 15 y 20%) y refrigeración.	crecimiento de hongos, levaduras y enterobacterias.	
Filete de jurel	<i>L. sakei</i>	Se comparó la eficacia en diferentes condiciones de envasado con y sin <i>L. sakei</i> en condiciones aeróbicas	<i>L. sakei</i> inhibió significativa la población de <i>S. aureus</i> (8,15±0,14 log UFC.g-1) en comparación con las muestras de control.	(Swarnadyuti et al., 2014)
Chorizo	Cepa de <i>L. plantarum</i> no productora de bacteriocina	La adición de <i>L. plantarum</i> PSC20 redujo significativamente el crecimiento de <i>L. monocytogenes</i> en comparación con las muestras de control sin PCS20.	Reducción de 2,6 y 3,8 log con 75 mg/kg y 150 mg/kg de nitrito añadido, respectivamente, después de 7 días. No hay actividad antimicrobiana contra <i>Salmonella spp.</i>	(Nikodinoska et al., 2019)
Salchicha de cerdo fresca	<i>L. sakei</i>	<i>L. sakei</i> aumentó significativamente la inhibición de <i>Salmonella enterica</i> serotipo Choleraesuis en comparación con la salchicha no fermentada.	Reducción media de 2,4 log después de 7 días almacenado a 10 °C.	(Gelinski et al., 2019)
Carne de cabra	Pediocina de <i>P. pentosaceus</i> y extracto	Se evaluó los efectos	Se observaron reducciones	(Kumar et al., 2017)

de bayas de <i>Murraya koenigii</i>	antimicrobianos de la combinación de pediocina de <i>P. pentosaceus</i> y bayas de <i>M. koenigii</i> en carne cruda de cabra almacenada a 4 °C durante 9 días.	logarítmicas de alrededor de 1,4, 3,0 y 4,1 en los recuentos de <i>L. innocua</i> los días 3, 6 y 9, respectivamente.
-------------------------------------	---	---

Tabla 3. Utilización de la Metodología PICO para determinar los géneros y especies de las bacterias más utilizadas como antimicrobiano contra patógenos en alimentos cárnicos.

P (Población) Bacterias BAL	I (Intervención)	C (Comparación)	O (Resultados)	Autores
<i>Lactobacillus sakei</i>	<i>Ll. sakei</i> a una concentración de 6 log UFC/g a 7-20°C	Se comparó la eficiencia de la BAL en dos distintas carnes (carne del chorizo ibérico y en salami)	<i>Ll. sakei</i> mostró una actividad antilisteriana, reduciendo en 2 log 10 unidades el recuento de <i>L. monocytogenes</i>	(Khalili et al., 2019)
<i>Lp. plantarum</i>	Se inoculo a 7 log UFC/g de <i>Lp. plantarum</i> en sucuk (salchicha turca fermentada seca)	Se comparó el efecto de 5 cepas autóctonas de <i>L. plantarum</i> (S50, S51, S72, S74 y S85) y muestra control en contra la <i>L. monocytogenes</i>	Se obtuvo un ligero aumento de <i>L. monocytogenes</i> en el grupo control mientras que se observó una reducción en las muestras producidas con cepas de <i>L. plantarum</i> en el primer día de fermentación. Se obtuvo mayor reducción con <i>L. plantarum</i> S50.	(Kamilogl u et al., 2019)
<i>Lactococcus lactis</i> spp.	Se utilizó la bacteriocina lactococina BZ (200-2500	Se determinaron las propiedades microbiológica	El tratamiento con lactococina BZ de 2500 AU/mL dio como	(Yildirim et al., 2016)

	AU/mL) en carne fresca de res	s de las muestras con y sin lactococina BZ.	resultado una disminución de ciclos logarítmicos de 4.87, 3.50 y 3.94 en los recuentos de bacterias mesófilas, psicrotróficas y ácido láctico, respectivamente, y una reducción de coliformes fecales de 1.04×10^2 UFC/g. Además redujo la cantidad de <i>Listeria innocua</i> (6.04 log UFC/g)	
<i>C. maltaromaticum</i> con quitosano	Se utilizó la bacteriocina de <i>C. maltaromaticum</i> y quitosano de alto peso molecular en carne magra contra <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i>	Se evaluó el efecto sinérgico del quitosano y las bacteriocinas en medios y en carne magra	La adición de quitosano solo o en combinación con <i>C. maltaromaticum</i> como cultivo protector redujo significativamente el recuento de células de <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i> en la carne de res.	(Hu et al., 2019)
<i>L. gelidum</i>	Se utilizó las bacteriocinas	Se comparó la eficacia de las	La leucocina A demostró mayor	(Balay et al., 2017)

	(leucocina A y leucocina N17L) de <i>L. gelidum</i> para inhibir el crecimiento de <i>Listeria monocytogenes</i> en salchichas	bacteriocinas en cinco cepas de <i>L. monocytogenes</i> <i>in vitro</i> e <i>in situ</i>	inhibición de <i>L. monocytogenes</i> que la leucocina N17L <i>in vitro</i> e <i>in situ</i>	
<i>L. johnsonii</i>	Se inoculo cepas de <i>L. johnsonii</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo	Se comparó la eficacia de la bacteria <i>L. johnsonii</i> y con rayos UV en carne de pollo con y sin piel, en muestras tratadas y de control	<i>L. johnsonii</i> redujo significativamente en la población de <i>Salmonella</i> al 5° día (5.97 log UFC/mL) y en <i>L. monocytogenes</i> (5.49 log UFC/mL). Mientras que con rayos UV resultó ser de igual eficaz en la reducción de patógenos	(Sakaridis et al., 2014)
<i>L. salivarius</i>	Se utilizó cepas de <i>L. salivarius</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo	Se comparó la eficacia de la bacteria BAL en carne de pollo con y sin piel, en muestras tratadas y de	<i>L. salivarius</i> redujo significativamente en la población de <i>Salmonella</i> al 5° día (5.36 log UFC/mL) y en <i>L. monocytogenes</i>	(Sakaridis et al., 2014)

		control	(5.01 log UFC/mL).	
<i>L. paralimentarius</i>	Se inoculo cepas de <i>L. paralimentarius</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo	Se comparó la eficacia de la bacteria <i>L. paralimentarius</i> y con rayos UV en carne de pollo, en muestras tratadas y de control	<i>L. paralimentarius</i> redujo significativamente en la población de <i>Salmonella</i> al 5° día (6.07 log UFC/mL) y en <i>L. monocytogenes</i> (5.72 log UFC/mL). Mientras que con rayos UV resultó ser de igual eficaz en la reducción de patógenos	(Sakaridis et al., 2014)
<i>L. reuteri</i>	Se inoculo cepas de <i>L. reuteri</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo	Se comparó la eficacia de la bacteria <i>L. reuteri</i> y con rayos UV en carne de pollo con y sin piel, en muestras tratadas y de control	<i>L. reuteri</i> redujo significativamente en la población de <i>Salmonella</i> al 5° día (6.04 log UFC/mL) y en <i>L. monocytogenes</i> (5.39 log UFC/mL). Mientras que con rayos UV resultó ser de igual eficaz en la reducción de	(Sakaridis et al., 2014)

Tabla 4. Utilización de la Metodología PICO para determinar los factores que influyen en la actividad antimicrobiana de las BAL en los alimentos cárnicos.

P (Población)	I (Intervención)	C (Comparación)	O (Resultados)	Autores
<i>Lp. plantarum</i>	1 día: 24°C y humedad relativa (HR) 92%, 2 días: 20°C y HR 90%, 4 días: 18°C y HR 88%, 6 días: 16°C y RH 88%, y 8 días: 16°C y RH 80%	Se comparó el efecto de la bacteria con una muestra sin cultivo y otra con cultivo.	<i>Lp. plantarum</i> mostro actividad inhibidora significativa contra <i>L. monocytogenes</i> a valores de pH bajos (<5).	(Kamiloglu et al., 2019)
<i>Lactococcus lactis</i> spp.	Se trataron muestras frescas de res en bolsas selladas con la bacteriocina lactococina BZ a 4-5°C durante 12 días.	Se determinaron las propiedades microbiológicas de las muestras con y sin lactococina BZ.	La lactococina BZ a 1600-2500 AU/mL produjo una actividad inhibidora muy efectiva, redujo 3.20 y 3.50 log UFC/g de bacterias psicrotróficas	(Yildirim et al., 2016)
<i>C. maltaromaticum</i> con	Se inoculó cultivos de <i>E. coli</i> y	Se evaluó en muestras no inoculadas y	La adición de quitosano solo o en combinación	(Hu et al., 2019)

quitosano	<i>Typhimurium</i> a la superficie de la carne de res y la bacteria <i>C. maltaromaticum</i> con quitosano a 4°C durante 32 días al vacío.	con y sin tratamiento	con <i>C. maltaromaticum</i> como cultivo protector redujo significativamente el recuento de las bacterias no deseables a un pH de 5.4 a diferencia de las muestras sin tratamiento que estuvo a temperatura ambiente	
<i>L. gelidum</i>	Se utilizó las bacteriocinas (leucocina A y leucocina N17L) de <i>L. gelidum</i> en salchichas al vacío y se almacenaron a 7°C durante 16 días	Se comparó la eficacia de las bacteriocinas en cinco cepas de <i>L. monocytogenes</i> <i>in vitro</i> e <i>in situ</i>	La leucocina A tuvo un efecto bactericida inicial en <i>L. monocytogenes</i> con una reducción inmediata. Después de 16 días de almacenamiento, las muestras tuvieron recuentos más bajos ($P < 0,05$) de <i>L. monocytogenes</i>	(Balay et al., 2017)
<i>L. johnsonii</i>	Se inoculo	Se comparó la	<i>L. johnsonii</i>	(Sakaridis

	cepas de <i>L. johnsonii</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo a 7°C durante 5 días	eficacia de la bacteria <i>L. johnsonii</i> y con rayos UV en carne de pollo con y sin piel, en muestras tratadas y de control durante 5 días de almacenamiento o	sobrevivió bien en los caldos a una temperatura de 7°C y sus niveles de población se mantuvieron constantes durante los 5 días de almacenamiento con y sin presencia de los patógenos.	et al., 2014)
<i>L. salivarius</i>	Se utilizó cepas de <i>L. salivarius</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo a 7°C durante 5 días	Se comparó la eficacia de la bacteria BAL en carne de pollo con y sin piel, en muestras tratadas y de control	<i>L. salivarius</i> redujo significativamente en la población de <i>Salmonella</i> al 5° día variando de 0.41 a 1.12 log UFC/mL y en <i>L. monocytogenes</i> de 0.77 a 1.48 log UFC/mL.	(Sakaridis et al., 2014)
<i>L. paralimentarius</i>	Se inoculó cepas de <i>L. paralimentarius</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de	Se comparó la eficacia de la bacteria <i>L. paralimentarius</i> en carne de pollo, en muestras tratadas y de	<i>L. paralimentarius</i> en el día 1 se obtuvo 5.00, en el día 2 5.61, día 3 5.91, día 4 5.99 y en el día 5 6.02 log UFC/mL de	(Sakaridis et al., 2014)

	pollo a 7°C durante 5 días	control	<i>Salmonella</i> y de <i>Listeria</i> 5.00, 5.02, 5.06, 5.16, y 5.39, respectivamente.	
<i>L. sakei</i>	Se inoculó <i>L. sakei</i> en carne de cerdo molida a 7°C durante 13 días y a 20°C	Se comparó la eficacia de <i>L. sakei</i> en la conservación de la carne molida de cerdo en dos condiciones de temperatura (7°C y a 20°C)	En la muestra control no hubo disminución de pH hasta el 3er día a ambas temperaturas a diferencia de las demás muestras tratadas que se observó disminución de pH en el 1er día.	(Ortiz et al., 2014)
<i>L. plantarum</i>	Se añadió <i>L. plantarum</i> en salchicha portuguesa y se almaceno durante 90 días a 4°C	Se comparó el efecto de un cultivo bioprotector fresco y liofilizado de <i>Lactobacillus plantarum</i>	No hubo diferencias en la reducción de <i>L. monocytogenes</i> , sin o con la adición de <i>L. plantarum</i> ya sea fresco o liofilizado durante los 90 días de almacenamiento	(Zanette et al., 2015)

Tabla 5. Utilización de la Metodología PICO para determinar el impacto de las BAL en la calidad sensorial de los alimentos cárnicos.

P (Población)	I (Intervención)	C (Comparación)	O (Resultados)	Autores
<i>L. plantarum</i>	Se inoculó cepas de <i>L. plantarum</i> en muestras de carne molida de res junto con extracto de ajo durante 12 días de almacenamiento	Se comparó la eficacia del uso de <i>L. plantarum</i> solo y con extracto de ajo en carne molida de res	<i>Lactobacillus</i> solo no cambiaron significativamente las puntuaciones de color y olor, mientras que aquellos que contienen <i>Lactobacillus</i> más extracto de ajo tuvieron puntuaciones mejoradas en comparación con el grupo de control hasta el día 12.	(Khalili et al. 2019)
<i>L. curvatus</i>	Se utilizó <i>L. curvatus</i> como cultivo bioprotector en carne cruda de res almacenada al vacío durante 10 días	Se comparó la efecto en la calidad de la carne cruda con y sin <i>L. curvatus</i> en el almacenamiento	Se demostró que el uso de <i>L. curvatus</i> como cultivo bioprotector genera degradación de tejido y genera un sabor desagradable "ácido" después de 60 días durante	(Khalili et al. 2019)

			el tiempo de refrigeración	
<i>L. plantarum</i>	Se usó 0,25 o 0,5% del aceite esencial en combinación con la bacteriocina semipurificada a 500 y 1000 AU/g, en carne de vacuno picada a 4°C durante 21 días.	Se comparó el efecto de la actividad antimicrobiana de <i>L. plantarum</i> con y sin el aceite esencial de <i>Mentha piperita</i>	La aceptabilidad general de la carne de res picada tratada al 0,25% fue aceptable hasta los 14 días, pero inaceptable a partir del día 7 al 0,5%, debido al intenso olor de la muestra. La puntuación del color mostró un patrón de aceptabilidad decreciente con el tiempo de almacenamiento	(Smaoui et al., 2016)
<i>L. salivarius</i>	Se agregaron <i>L. salivarius</i> junto con <i>Salmonella</i> spp. y <i>L. monocytogenes</i> en carne de pollo con y sin piel	Se comparó el efecto de <i>L. salivarius</i> en carne de pollo con y sin piel	Los inóculos de <i>L. salivarius</i> no tuvieron efectos negativos sobre el olor y la apariencia de la carne de pollo.	(Sakaridis et al. 2014)
<i>L. curvatus</i>	Se usó soluciones de inmersión que contenían	Se comparó el efecto <i>L. curvatus</i> con nisina y ácidos	Se obtuvo mayor aceptabilidad en jugosidad, sabor y color con la	(Castellano et al., 2018)

	bacteriocinas producidas por <i>L. curvatus</i> salchichas almacenadas a 10°C durante 36 días	orgánicos solos o en combinación contra <i>L. monocytogenes</i> inoculada por inmersión en envases al vacío	combinación de ácidos orgánicos, nisina y <i>L. curvatus</i>	
<i>L. plantarum</i>	Se inoculó plantaricina, una bacteriocina Ila típica producida por <i>L. plantarum</i> , incorporada en una película de PVDC en carne de cerdo fresca durante 7 días de almacenamiento a 4°C	Se comparó la bacteriocina de la BAL en muestras con y sin soluciones de plantaricina BM-1 (20,480 AU/mL)	Las propiedades sensoriales tuvieron mayor aceptabilidad con las muestras tratadas plantaricina BM-1 (480 AU/mL)	(Macieira et al., 2018)
<i>L. sakei</i>	Se inoculó <i>L. sakei</i> en productos cárnicos cocidos envasados al vacío	Se comparó el efecto de <i>L. sakei</i> en muestra de control y tratadas	Los efectos de <i>L. sakei</i> genero una acidificación significativa que dio como resultado un sabor ácido del producto	(Casquete et al., 2018)
<i>L. plantarum</i>	Se inoculó <i>L. plantarum</i> aisladas del	Se comparó el efecto de <i>L. plantarum</i> en	Se obtuvo mejor aceptabilidad en color, sabor, olor	(Granja, 2022)

mucilago de cacao en filetes de tilapia roja y negra	diferentes concentraciones de NaCl (10, 15 y 20%)	y textura en la carne de tilapia roja con BAL a mayor concentración de NaCl
--	---	---

4.2 Interpretación de los resultados

Los estudios han demostrado que las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) poseen una actividad antimicrobiana significativa en diversos tipos de alimentos cárnicos, incluidos la carne de res, cerdo, pavo, pescado, pollo y en embutidos. La eficacia de las BAL varía dependiendo del tipo de carne y de la especie de BAL utilizado, debido a las diferencias en la composición y las características fisicoquímicas de cada tipo de carne. Por ejemplo, en carnes de ave, las BAL han mostrado ser particularmente efectivas contra patógenos como *Salmonella* y *Campylobacter*, mientras que, en carne de cerdo y res, su acción se destaca contra *L. monocytogenes* y *E. coli*. Estas diferencias sugieren la necesidad de seleccionar cepas específicas de BAL para diferentes tipos de productos cárnicos con el fin de optimizar su eficacia antimicrobiana (Barcenilla et al., 2022).

4.2.1 Actividad Antimicrobiana de las BAL en diferentes tipos de Alimentos

Cárnicos

En la tabla 2 muestra cómo diferentes cepas de BAL y otros tratamientos antimicrobianos afectan la reducción de patógenos y la extensión de la vida útil en distintos tipos de carnes y productos cárnicos. En la carne molida de res con el uso de *L. reuteri* y *L. plantarum* combinados con extracto de ajo potencia la actividad antimicrobiana de las BAL, mejorando la seguridad de la carne; en el embutido con la

bacteriocina de *P. acidilactici* reducción significativa de *L. monocytogenes* durante 8 días de conservación. Mientras que en la carne de pollo y de cerdo *L. salivarius* y *L. lactis* subsp. *lactis* I23 y E91 puede ser utilizado como un agente antimicrobiano para reducir la presencia de patógenos, respectivamente. En el caso de embutidos, se estudió en jamón, salchicha de ternera y fermentada, las BAL inhiben significativamente microorganismos patógenos y puede mejorar la calidad microbiológica durante la conservación (Khalili et al., 2019; Barcenilla et al., 2022; Sakaridis et al., 2014; Olaoye et al., 2015).

Las bacterias ácido lácticas y sus bacteriocinas son efectivas para reducir diversos patógenos en una variedad de productos cárnicos, lo que mejora la seguridad alimentaria y extiende la vida útil de estos productos. Las combinaciones de BAL con otros tratamientos, como extractos naturales y quitosano, pueden potenciar estos efectos antimicrobianos (Barcenilla et al., 2022).

4.2.2 Géneros y Especies de BAL más utilizadas como Antimicrobianos contra Patógenos en Alimentos Cárnicos

En la tabla 3 se indica las bacterias ácido lácticas (BAL) y sus bacteriocinas son efectivas para reducir diversos patógenos en alimentos cárnicos. Los tratamientos con BAL, como *L. sakei*, *L. plantarum*, y las combinaciones con quitosano, han mostrado una significativa reducción en el recuento de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *E. coli* y otros patógenos (Khalili et al., 2019; Kamiloglu et al., 2019). Las bacteriocinas, como la lactococina BZ y leucocina A, también demostraron ser altamente efectivas en mejorar la seguridad microbiológica (Yildirim et al., 2016; Balay et al., 2017). Estas intervenciones pueden ser comparables a tratamientos con rayos UV, mostrando la potencial de las BAL y sus derivados en la industria alimentaria para mejorar la seguridad y extender la vida útil de los productos cárnicos (Sakaridis et al., 2014).

Los géneros de BAL más comúnmente utilizados incluyen *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, y *Pediococcus*. Especies específicas como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sakei*, y *Pediococcus acidilactici* son recurrentemente mencionadas por su robusta actividad antimicrobiana. Estas especies producen bacteriocinas, ácidos orgánicos y otros metabolitos que inhiben el crecimiento de patógenos. En el caso de *Lactobacillus sakei* es altamente efectivo en productos cárnicos fermentados, debido a su capacidad para prosperar en ambientes de baja temperatura y alta salinidad, lo que le permite competir eficazmente con bacterias patógenas (Barcenilla et al., 2022).

Lactobacillus sakei ha mostrado ser efectiva contra patógenos como *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos. *L. sakei* puede reducir significativamente la presencia de patógenos durante el almacenamiento de carnes frías (Şimşek et al., 2019). Mientras que *Pediococcus acidilactici* produce pediocinas que son efectivas contra *Staphylococcus aureus* y otros patógenos en productos cárnicos fermentados (Martín et al., 2020). *L. salivarius* demostró tener mayor potencial para inhibir *L. monocytogenes* y *Salmonella* spp. (ambos a 10^4 UFC/g) en carne de pollo (Sakaridis et al., 2014).

4.2.3 Factores que Influyen en la Actividad Antimicrobiana de las BAL en los Alimentos Cárnicos

En la tabla 4 muestra la actividad antimicrobiana de las BAL en los alimentos cárnicos está influenciada por varios factores, incluyendo la temperatura de almacenamiento, el pH del producto, la concentración de sal, y la presencia de otros microorganismos. La temperatura es crítica; las BAL generalmente son más efectivas a

temperaturas de refrigeración, lo que coincide con las condiciones de almacenamiento de muchos productos cárnicos (Barcenilla et al. 2022).

El pH también juega un papel esencial, ya que un ambiente ligeramente ácido favorece la producción de ácidos orgánicos y bacteriocinas por parte de las BAL. Además, la concentración de sal puede afectar tanto a las BAL como a los patógenos; las BAL suelen tolerar bien concentraciones moderadas de sal, lo que les permite inhibir a patógenos que son más sensibles a estas condiciones (Granja, 2022).

La eficacia de *Lactobacillus plantarum* en la inhibición de *Salmonella* spp. en carne de pollo se mantuvo más alta a temperaturas de refrigeración de 4°C en comparación con temperaturas de almacenamiento ambiente de 25°C (Zhao et al., 2018). Además, la combinación de BAL y empaques al vacío mejoró la estabilidad microbiológica de la carne de cerdo durante el almacenamiento en refrigeración (Hu et al., 2021).

4.2.4 Impacto de las BAL en la Calidad Sensorial de los Alimentos Cárnicos

En la tabla 5 muestra que el uso de BAL no solo contribuye a la seguridad microbiológica de los alimentos cárnicos, sino que también impacta positivamente en su calidad sensorial. Las BAL pueden mejorar el sabor, la textura y el color de los productos cárnicos. Como en el caso de las especies *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus acidilactici* son conocidas por producir compuestos aromáticos que mejoran el sabor de los productos cárnicos fermentados. Además, las BAL pueden influir en la textura al producir exopolisacáridos, que contribuyen a una mejor retención de agua y una textura más jugosa (Barcenilla et al., 2022).

En cuanto al color, la producción de compuestos como el diacetilo puede contribuir a un color más atractivo y natural en los productos cárnicos. El pH del alimento influye en la actividad antimicrobiana y en la calidad sensorial de los alimentos cárnicos. Un pH más bajo puede aumentar la producción de ácidos orgánicos y bacteriocinas favoreciendo la conservación de la carne, en caso contrario genera un deterioro y un aumento de microorganismos patógenos (Granja, 2022). *Lactobacillus sakei* y *Lactobacillus curvatus* eran más efectivos en productos cárnicos con un pH más bajo, inhibiendo patógenos como *Listeria monocytogenes* (Ruiz-Capillas et al., 2015). Además, al ajustar el pH a niveles ligeramente ácidos mejoró la eficacia de *Lactobacillus brevis* en la inhibición de *Clostridium perfringens* en productos cárnicos cocidos (Xu et al., 2017).

Se demostró que mayores concentraciones de *Lactobacillus* resultaron en una reducción más significativa de *E. coli* en productos cárnicos procesados generando menos cambios en la calidad sensorial de la carne (Yang et al., 2016). Asimismo, se encontró que una alta densidad de *Lactobacillus sakei* fue crucial para controlar la proliferación de *Listeria monocytogenes* para obtener una calidad sensorial óptima en salchichas fermentadas (Koo et al., 2020).

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se identificó que las BAL en alimentos cárnicos poseen una capacidad significativa en la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos y deteriorantes, resaltando su potencial como bioconservantes naturales por la producción de ácidos orgánicos, bacteriocinas y otros compuestos antimicrobianos.

Las BAL además de mejorar la seguridad microbiológica de los alimentos cárnicos, también tienen un impacto positivo en la calidad sensorial de los productos, conservando o incluso mejorando sus características organolépticas como el sabor, olor y textura, tanto en carnes procesadas como sin procesar.

La mayoría de las BAL tienen efecto significativo en la inhibición de patógenos y en la mejora de las características organolépticas dependiendo del tipo de carne y de las condiciones de almacenamiento.

Las BAL más utilizados como bioconservantes de los productos cárnicos son *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, y *Enterococcus*. Entre ellos, especies como *L. plantarum*, *L. sakei*, y *P. acidilactici*, destacan por su capacidad para inhibir el crecimiento de patógenos comunes en alimentos cárnicos, tales como *L. monocytogenes*, *Salmonella spp.*, y *E. coli*.

Algunas limitaciones importantes, como la variabilidad en la eficacia de las BAL dependen del tipo carne y las condiciones de almacenamiento. Además, la mayoría de las

investigaciones han sido realizado en condiciones controladas de laboratorio, lo que puede no reflejar el mismo efecto en los escenarios de producción a escala industrial.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda estudiar a profundidad las condiciones óptimas de aplicación de las BAL, incluyendo la concentración adecuada, el método de incorporación y las condiciones de almacenamiento que maximicen su eficacia antimicrobiana en diferentes tipos de alimentos cárnicos.
- Realizar estudios a gran escala en entornos industriales para validar los resultados obtenidos en laboratorio y ajustar las prácticas de bioconservación a las condiciones reales de producción y distribución de alimentos.
- Estudia nuevas cepas de BAL con características antimicrobianas mejoradas y adaptadas a diferentes matrices alimentarias que puedan ampliar las aplicaciones de estas bacterias en la industria cárnica.

Continuar evaluando la seguridad del uso de BAL en alimentos cárnicos, asegurando que cumplen con las regulaciones alimentarias vigentes y no presentan riesgos para la salud del consumidor.

Bibliografía

- Aymerich, T., Picouet, P. A., & Monfort, J. M. (2019). Technological and microbiological effects of adding bacteriocin-producing lactic acid bacteria to cooked ham. *Meat Science*, 83(2), 159-165.
- Angmo, K., Kumari, A., Savitri, M., & Chand Bhalla, T. (2016). Antagonistic activities of lactic acid bacteria from fermented foods and beverage of Ladakh against *Yersinia enterocolitica* in refrigerated meat. *Food Bioscience*, 13, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.004>.
- Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2022, 1 de enero). Aplicación de bacterias ácido lácticas para la bioconservación de productos cárnicos: una revisión sistemática. *Ciencia de la carne*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>.
- Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria: their applications in foods. *J. Bacteriol. Mycol*, 6(2), 89-94.
- Bangar, S. P., Suri, S., Trif, M., & Ozogul, F. (2022). Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach. *Food bioscience*, 46, 101615.
- Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. (Enero _ Junio 2017). Vol 15 No. 1. FAVARO, L. P. (2015). Bacteriocinogenic Application in biopreservation. *Trends in Food Science & Technology*, 37-48.
- Bassi, D., Puglisi, E., Coconcelli, P. S. (2015). Comparing natural and selected starter cultures in meat products: The effect on microbiological quality and shelf-life. *Food Control*, 54, 160-168.
- Benito, M. J., Rodríguez, M., Núñez, F., et al. (2016). Effect of the inoculation of *Lactobacillus sakei* and *Debaryomyces hansenii* on the sensory characteristics and safety of dry fermented sausage “salchichón.” *International Journal of Food Microbiology*, 238, 1-9.
- Castellano, P., Belfiore, C., Fadda, S., & Vignolo, G. (2017). A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina. *Meat Science*, 78(2), 134-143.
- Carnes Argentinas S.A. (2017). Extensión de la vida útil de productos cárnicos frescos mediante el uso de *Lactobacillus plantarum*. *Informe de Empresa*.
- Chakchouk-Mtibaa, A., 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. *Biocontrol Science*, 22(2), 67–77. <https://doi.org/10.4265/bio.22.67>.
- Drosinos, E. H., Paramithiotis, S., Kolovos, G., Tsikouras, I., Metaxopoulos, I., & Frantzis, T. G. (2021). Use of lactic acid bacteria (LAB) in meat preservation: Beneficial effects and potential hazards. In A. S. Nigam & M. K. Kavita (Eds.),

Advances in food microbiology (pp. 245-272). Academic Press.

- Da Costa, R. J., Voloski, F. L., Mondadori, R. G., Duval, E. H., & Fiorentini, Â. M. (2019). Preservation of meat products with bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from meat. *Journal of Food Quality*, 2019, 1-12.
- De Smet, S., & Vossen, E. (2016). Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Science*, 120, 145-156.
- Diop, M. B., Guillouard, I., Drider, D., Prevost, H. (2018). Bacteriocin-producing *Lactobacillus plantarum*: A promising biopreservative for meat products. *Food Science and Technology International*, 24(4), 308-318.
- Dogan, H., & Erkmen, O. (2019). Combined effects of lactic acid bacteria and storage temperature on the behavior of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat products. *Food Control*, 98, 138-145.
- Casquete, R., Fonseca, S. C., Pinto, R., Castro, S. M., Todorov, S., Teixeira, P., & Vaz-Velho, M. (2019). Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of a sliced cured-smoked pork product with protective cultures addition and modified atmosphere packaging. *Food science and technology international*, 25(4), 327-336.
- EFSA. (2017). Scientific opinion on the update of the list of QPS-recommended biological agents intentionally added to food or feed as notified to EFSA. *EFSA Journal*, 15(3), e04664.
- Embutidos Fermín. (2016). Implementación de bacterias ácido lácticas en productos cárnicos fermentados. *Informe Técnico de Empresa*.
- Gänzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current Opinion in Food Science*, 2, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.03.001>
- Granja, A. (2022). *Aislamiento y caracterización de bacterias ácido lácticas en dos variedades de cacao (Mucílago), Nacional y CCN-51, para la bioconservación de carne de dos especies de tilapia: Negra (Oreochromis mossambicus) y roja (Oreochromis niloticus) considerando distintas concentraciones de cloruro de sodio* (Tesis de Ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/28892>
- Gandhi, A., & Shah, N. P. (2014). Fermented meat products: Organoleptic qualities and health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 833-848.
- Garcia, S., Tamagnini, L. M., & Vinderola, G. (2019). Probiotics in food: Health and nutritional properties and regulatory approaches. *Food Research International*, 123, 175-186.

- Gelinski, J., Baratto, C., Casagrande, M., Oliveira, T., Megiolaro, F., Soares, F. A., ... Fonseca, G. (2019). Control of pathogens in fresh pork sausage by inclusion of *Lactobacillus sakei* BAS0117. *Canadian Journal of Microbiology*, 84(1), 831–841. Retrieved from: <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/96531/1/cjm-2019-0136.pdf> Accessed January 21, 2021.
- Hu, Y., Wu, J., Lin, Y., & Zheng, Z. (2016). Comparative study on the antimicrobial activity of sakacin A and pediocin PA-1 against foodborne pathogens. *Food Control*, 62, 198-203.
- Hu, Z. Y., Balay, D., Hu, Y., McMullen, L. M., & Ganzle, M. G. (2019). Effect of chitosan, and bacteriocin – producing *Carnobacterium maltaromaticum* on survival of *Escherichia coli* and *Salmonella Typhimurium* on beef. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.10.003>.
- Hammes, W. P., & Hertel, C. (2015). The genera *Lactobacillus* and *Carnobacterium*. In M. P. Doyle & R. L. Buchanan (Eds.), *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers* (pp. 154-179). ASM Press.
- Hernández-González, J. C., Martínez-Tapia, A., Lazcano-Hernández, G., García-Pérez, B. E., & Castrejón-Jiménez, N. S. (2021). Bacteriocins from Lactic Acid Bacteria. A Powerful Alternative as Antimicrobials, *Probiotics, and Immunomodulators in Veterinary Medicine. Animals*, 11(4), 979. doi:10.3390/ani11040979.
- Hongthong, N., Chumngoen, W., & Tan, F. J. (2020). Influence of sucrose level and inoculation of *Lactobacillus plantarum* on the physicochemical, textural, microbiological, and sensory characteristics of Isan sausage (Thai fermented pork sausage). *Animal Science Journal*, 91(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/asj.13312>.
- Huang, X., Lin, J., & Demner-Fushman, D. (2016). Evaluation of PICO as a knowledge representation for clinical questions. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12911-016-0280-6>
- Jami, G. M. (2014, Agosto). Antimicrobial activity and partial characterization of bacteriocinas produced by *Lactobacilli* isolated from Sturgeon fish. *Food Control*, 32, 375 - 389.
- Keller, S., Schmid, R., Casey, P. G., et al. (2014). Role of *Lactobacillus acidophilus* surface-layer proteins in bacterial interaction with the host and their impact on gut health. *Journal of Applied Microbiology*, 116(5), 1406-1417.
- Khalili Sadaghiani, S., Aliakbarlu, J., Tajik, H., & Mahmoudian, A. (2019). Anti-listeria activity and shelf life extension effects of *Lactobacillus* along with garlic extract in ground beef. *Journal of Food Safety*, 39(6), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfs.12709>
- Kumar, Y., Kaur, K., Shahi, A. K., Kairam, N., & Tyagi, S. K. (2017). Antilisterial,

antimicrobial and antioxidant effects of pediocin and *Murraya koenigii* berry extract in refrigerated goat meat emulsion. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.028>.

Kamiloglu, A., Kaban, G., & Kaya, M. (2019). Effects of autochthonous *Lactobacillus plantarum* strains on *Listeria monocytogenes* in sucuk during ripening. *Journal of Food Safety*, 39(3), 1–6. <https://doi.org/10.1111/jfs.12618>.

Kamiloglu, A., Kaban, G., & Kaya, M. (2019). Effects of autochthonous *Lactobacillus plantarum* strains on *Listeria monocytogenes* in sucuk during ripening. *Journal of Food Safety*, 39(3), e12618.

Koo, O. K., Lee, Y. H., & Kim, S. H. (2020). Effectiveness of high density *Lactobacillus sakei* for controlling *Listeria monocytogenes* in fermented sausages. *Food Science and Technology International*, 26(2), 130-138. <https://doi.org/10.1177/1082013219894735>

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2016). Lactic acid bacteria as probiotic organisms. In *Lactic Acid Bacteria* (pp. 151-174). CRC Press. DOI: 10.1201/9781315375885-8.

Linares, D. M., Gómez, C., Renes, E., Fresno, J. M., Tornadizo, M. E., & Ross, R. P. (2017). Lactic acid bacteria and bifidobacteria with potential to design natural biofunctional health-promoting dairy foods. *Frontiers in Microbiology*, 8, 846. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00846.

Linares, J. R., Gutiérrez, N., Rivera, B. E., Pérez, S. B., & Nevárez, G. V. (2018). Biocontrol Processes in Fruits and Fresh Produce, the Use of Lactic Acid Bacteria as a Sustainable Option. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2(August). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00050>.

Londoño, A., Taborda, T., López, A., & Acosta, V. (2015). Bacteriocinas producidas por bacterias ácido lácticas y su aplicación en la industria de alimentos. *Alimentos hoy*, 23(36), 186- 205.

Lorenzo, J. M., Gómez, M., & Fonseca, S. (2015). Effect of commercial starter cultures on physicochemical characteristics, microbial counts and free fatty acid composition of dry-cured foal sausage. *Food Control*, 47, 114-120.

Li, Y., Zhang, C., & Liu, W. (2020). Application of Lactic Acid Bacteria in the Preservation and Sensory Improvement of Meat Products: A Review. *Food Science and Technology Research*, 26(2), 151-159. <https://doi.org/10.3136/fstr.26.151>

Macieira, A., Barros, D., Vaz Velho, M., Pinheiro, R., Fonseca, S., Albano, H., & Teixeira, P. (2018). Effects of *Lactobacillus plantarum* bacteriocinogenic culture on physicochemical, microbiological, and sensorial characteristics of "Chouriço Vinha d'Alhos", a traditional Portuguese sausage. *Journal of food quality and hazards control*, 5(4), 118-127.

- Martín, B., Garriga, M., & Hugas, M. (2020). Bacteriocinogenic potential of lactic acid bacteria in different types of fermented sausages. *Food Control*, *112*, 107133. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107133>
- Nath, S., Chowdhury, S., & Dora, K. C. (2014). Effect of lactic acid bacteria application on shelf life and safety of fish fillet at 6±1 c. *Int. J. Adv. Res*, *2*, 201-207.
- Olaoye, O. A., Onilude, A. A., & Ubbor, S. C. (2015). Control of *Brochothrix thermosphacta* in Pork Meat Using *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* I23 Isolated from Beef. *Applied Food Biotechnology*, *2*(3), 49–55. <https://doi.org/10.22037/afb.v2i3.7993>.
- Orihuel, A., Bonacina, J., Vildoza, M. J., Bru, E., Vignolo, G., Saavedra, L., & Fadda, S. (2018). Biocontrol of *Listeria monocytogenes* in a meat model using a combination of a bacteriocinogenic strain with curing additives. *Food Research International*, *107*, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.043>.
- Papadimitriou, K., Alegría, Á., Bron, P. A., de Angelis, M., Gobbetti, M., Kleerebezem, M., ... & Tsakalidou, E. (2016). Stress physiology of lactic acid bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *80*(3), 837-890. DOI: 10.1128/MMBR.00076-15.
- Pothakos, V., Devlieghere, F., Villani, F., Björkroth, J., & Ercolini, D. (2015). Lactic acid bacteria and their controversial role in fresh meat spoilage. *Meat science*, *109*, 66-74.
- Pico, E. (2024). *Actividad Antibacteriana del Extracto del alga verde (Ulva lactuca Linnaeus 1753): Una Prometedora Fuente de Compuestos Bioactivos* (Tesis de posgrado). Universidad Estatal de Milagro (UNEMI).
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., & Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, *134*, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, *372*. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71ds> in *Food Science & Technology*, *72*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.001>
- Ruiz, M. J. (2019). Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas con actividad inhibitoria de bacterias implicadas en enfermedades transmitidas por alimentos.
- Ren, D., Li, C., Qin, Y., et al. (2019). Biofilm formation and quorum sensing of foodborne pathogens and their control in food processing facilities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(9), 1231-1252.

- Spano, G., Beneduce, L., Perrotta, C., & Massa, S. (2014). Lactic acid bacteria and natural protective cultures for fresh meat: A review. *Journal of Applied Microbiology*, *116*(6), 1210-1223.
- Sakaridis, I., Soultos, N., Batzios, C., Ambrosiadis, I., & Koidis, P. (2014). Lactic acid bacteria isolated from chicken carcasses with inhibitory activity against *Salmonella spp.* and *Listeria monocytogenes*. *Czech Journal of Food Sciences*, *32*(1), 61–68. <https://doi.org/10.17221/414/2012-cjfs>.
- Smaoui, S., Ben, A., Lahmar, A., Ennouri, K., Mtibaa-chakchouk, A., Sellem, I., ... Bouaziz, M. (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. *Meat Science*, *117*, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006>.
- Şimşek, Ö., Çon, A. H., & Karasu, N. (2019). Use of *Lactobacillus sakei* strains with bacteriocinogenic properties to control *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in a Turkish dry-fermented sausage. *Meat Science*, *157*, 107876. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107876>
- T, B. (2018). Bacterias ácido lácticas: sus aplicaciones en los alimentos. *Revista de Bacteriología y Micología: Acceso abierto*, *6* (2). <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2018.06.00182>
- Talpur, F. N. (2014). Lactic acid bacteria and its use in meat processing: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(2), 1052-1061.
- Vallejo Andi, K. M. (2021). Utilidad de las bacteriocinas producidas por bacterias lácticas para la bioconservación de productos cárnicos.
- Von Wright, A., & Axelsson, L. (2019). Lactic acid bacteria: an introduction. In *Lactic acid bacteria* (pp. 1-16). CRC Press.
- 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. *Meat Science*, *120*, 118-132.
- Xu, Y., Ayala, J. A., & Wang, Y. (2017). Effect of pH adjustment on the antimicrobial activity of *Lactobacillus brevis* against *Clostridium perfringens* in cooked meat products. *Meat Science*, *134*, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.06.006>
- Yildirim, Z., Yerlikaya, S., Oncül, N., & Sakin, T. (2016). Inhibitory effect of *Lactococcus BZ* against *Listeria innocua* and indigenous microbiota of fresh beef. *Food Technology and Biotechnology*, *54*(3), 317–323. <https://doi.org/10.17113/ft b.54.03.16.4373>.
- Yang, Y., Liu, Y., & Chen, H. (2016). Impact of concentration of *Lactobacillus rhamnosus* on the control of *Escherichia coli* in meat products. *Journal of Food*

Safety, 36(2), 233-240. <https://doi.org/10.1111/jfs.12249>

Zapaśnik, A., Sokołowska, B., & Bryła, M. (2022). Role of lactic acid bacteria in food preservation and safety. *Foods*, 11(9), 1283.

Zhou, G. H., Xu, X. L., & Liu, Y. (2014). Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Science*, 98(3), 447-460.

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

