



MAESTRIA EN MICROBIOLOGÍA AGROINDUSTRIAL

AVANCES EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE MICROORGANISMOS
PROBIÓTICOS INCORPORADOS A MATRICES ALIMENTARIAS

MANUEL ALEJANDRO VELANDIA LÓPEZ



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

**AVANCES EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE MICROORGANISMOS PROBIÓTICOS
INCORPORADOS A MATRICES ALIMENTARIAS**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Microbiología
Agroindustrial

Modalidad de grado: Monografía

Director

Eduardo Javid Corpas PhD¹

Codirectora

Lina María Londoño Giraldo M. Sc, PhD²

Autor

Manuel Alejandro Velandia López

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ciencias de la Salud

Programa Maestría en Microbiología Agroindustrial

Manizales 2023

¹ <https://orcid.org/0000-0002-7151-6237>

² <https://orcid.org/0000-0002-7824-0245>

Tabla de contenido

1. RESUMEN	7
2. INTRODUCCIÓN.....	9
3 OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo General.....	12
3.2 Objetivos Específicos	12
4. METODOLOGÍA.....	13
4.1 Desarrollo de la revisión bibliográfica	13
4.1.2 Tipo de revisión	13
4.1.3 Procedimientos de búsqueda	13
4.1.4 Criterios de elegibilidad y selección de los estudios.....	15
4.1.5 Extracción de datos de la literatura potencialmente relevante	19
4.1.6 Síntesis de la información.....	19
4.2 Desarrollo de la exploración bibliométrica.....	20
4.2.1 Elección de base de datos a emplear	21
4.2.2 Creación de algoritmo de búsqueda	22
CUERPO DEL TRABAJO.....	24
CAPÍTULO 1. PROBIÓTICOS.....	25
1.1 Conceptos afines a la actividad probiótica.....	27
1.2 Factores de evaluación para determinar la seguridad de las cepas probióticas.....	29
1.3 Requisitos mínimos para el uso de microorganismos probióticos	31
1.4 Mecanismo de acción de los probióticos	32
1.5 Uso de los probióticos como parte del tratamiento de enfermedades	35
Tabla 6. Uso de microorganismos con propiedades probióticas sobre patologías de interés médico	36
1.6 Iniciativas regulatorias globales sobre la seguridad de los probióticos.....	38
1.6.1 Normativa y regulaciones colombianas en torno al uso de los probióticos.....	39
CAPITULO 2. MICROENCAPSULACIÓN DE CULTIVOS PROBIÓTICOS	40
2.1 Co-Encapsulación de compuestos bioactivos.....	51
2.2 Materiales encapsulantes	53
2.3 Microencapsulación y factores fisicoquímicos	61

<i>CAPITULO 3. EXPLORACIÓN BIBLIOMÉTRICA</i>	64
<i>3.1 Análisis de frecuencias</i>	64
<i>3.2 Análisis de interacciones</i>	67
<i>5.DISCUSIÓN</i>	74
<i>5.1 Resumen de la evidencia</i>	74
<i>Tabla 11. Hallazgos principales del estudio</i>	74
<i>5.2 Limitaciones</i>	77
<i>6.Conclusiones</i>	79
<i>7. Recomendaciones</i>	80
<i>Referencias bibliográficas</i>	81

Lista de figuras

<i>Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA Fuente: (Page et al., 2021b)</i>	18
<i>Figura 2. Beneficios de la ingesta de productos suplementados con microorganismos probióticos microencapsulados (Fuente: Elaboración propia)</i>	35
<i>Figura 3. Principales técnicas de microencapsulación en función a los géneros más encapsulados (Fuente: Elaboración propia)</i>	41
<i>Figura 4. Producción científica anual asociada a la microencapsulación de probióticos en matrices alimentarias.</i>	64
<i>Figura 5. Nivel de productividad por autores en función a los últimos 20 años de publicación en temas relacionados a microencapsulación de probiótico</i>	65
<i>Figura 6. Producción de artículos por instituciones de educación superior desde el 2000 al 2022</i>	67
<i>Figura 7. Co-autorías entre países agrupados en clústeres de trabajo según su nivel de productividad en temas de microencapsulación de probióticos</i>	67
<i>Figura 8. Relación entre países según las interacciones de sus grupos de trabajo y la cantidad de publicaciones realizadas en microencapsulación de probióticos</i>	68
<i>Figura 9. Co-autorías de autores y sus nodos de trabajo agrupados por el nivel de publicación en microencapsulación de probióticos</i>	70
<i>Figura 10. Diagrama de redes de la correlación entre las citas y la revista científica con mayor relevancia en microencapsulación de probióticos</i>	71
<i>Figura 11. Citación por organizaciones agrupadas en clústeres por el volumen de publicaciones en microencapsulación de probióticos</i>	72
<i>Figura 12. Evolución temática de palabras clave relacionados a la microencapsulación de probióticos en tres intervalos de tiempo</i>	73

Lista de tabas

<i>Tabla 1. Criterios de elegibilidad y selección de estudios</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2. Extracción de datos para la revisión sistemática propuesta en microencapsulación de probióticos</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3. Comparación de las bases de datos Scopus y WOS.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4. Géneros microbianos más empleados como probióticos</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5. Principales microorganismos empleados como probióticos en la industria alimentaria</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6. Uso de microorganismos con propiedades probióticas sobre patologías de interés médico</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7. Avances en las técnicas de microencapsulación en diversas matrices alimentarias</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 8. Microorganismos, usos y materiales utilizados para la encapsulación de probióticos</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 9. Comparación de materiales empleados en los procesos de microencapsulación ...</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 10. Factores fisicoquímicos de influencia en los procesos de microencapsulación.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 11. Hallazgos principales del estudio.....</i>	<i>74</i>

1. RESUMEN

Introducción: Los beneficios que aportan a la salud el consumo de microorganismos probióticos puede verse afectada por la reducción de su viabilidad durante el tránsito gastrointestinal. La microencapsulación se emplea como una alternativa para mejorar la resistencia de los probióticos a condiciones desfavorables. Esta revisión presenta estrategias emergentes para la microencapsulación de probióticos, abordando factores como las especies microbianas más empleadas, las técnicas de microencapsulación más eficientes y los factores fisicoquímicos de mayor relevancia inmersos en las diferentes técnicas de microencapsulación de microorganismos probióticos. **Objetivo general:** Establecer el estado del arte sobre la microencapsulación de microorganismos probióticos incorporados a matrices alimentarias. **Metodología:** Se realizó una revisión sistemática utilizando la metodología PRISMA. La revisión sistemática comprendió un análisis de experiencias organizadas para obtener conclusiones, hacer cotejos y estructurar un análisis crítico de la temática en microencapsulación de microorganismos probióticos en matrices alimentarias. Se tomaron en cuenta los criterios de inclusión y exclusión establecidos, y de un total de 250 artículos encontrados, se seleccionaron 50. Adicional, se realizó una exploración bibliométrica utilizando la base de datos WOS y los programas Bibliometrix y VOSviewer. **Resultados:** Los estudios analizados mostraron que las técnicas más utilizadas para la microencapsulación de microorganismos probióticos son la técnica por extrusión y la técnica de secado por aspersión (*spray drying*). El género microbiano más utilizado en estudios de microencapsulación es *Lactobacillus*, seguido de las bifidobacterias. Los factores fisicoquímicos determinantes en los procesos de microencapsulación son la temperatura, humedad y viscosidad; ya que su control durante los procesos de encapsulación permite obtener mejores resultados en las micropartículas generadas. **Conclusión:** La

microencapsulación de cultivos probióticos es un tema de importancia en la microbiología industrial y alimentaria, actualmente se está enfocando la temática en prácticas de coencapsulación o en pruebas de supervivencia en matrices alimentarias no convencionales.

2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha evidenciado el incremento del uso de microorganismos probióticos como agentes promotores de salud y bienestar en los consumidores, relacionando su uso con múltiples beneficios (Guan et al., 2021), entre ellos la modulación de la microbiota intestinal, a través de la inhibición de microorganismos patógenos (Ghyselinck et al., 2021); la producción de compuestos anticancerígenos (Singh et al., 2021); la modulación de las respuestas inmunitarias, entre otros (Keerqin et al., 2021; Kulangara Varsha et al., 2021; Pachacama López et al., 2021).

Sin embargo, para promover los efectos benéficos, los microorganismos con propiedades probióticas deben tolerar las condiciones del sistema digestivo, de manera que puedan colonizar y desarrollar actividad metabólica en el tracto intestinal humano (Wang et al., 2021^a; Zhu et al., 2021). En este sentido, la microencapsulación es un método que le permite a los microorganismos probióticos resistir las condiciones adversas, reduciendo con ello la muerte de las células viables en las matrices alimentarias de interés durante el tránsito por el sistema digestivo (Chaudhary, 2019).

En función de las especies microbianas a encapsular en las matrices alimentarias, se utilizan diferentes metodologías para la microencapsulación de microorganismos probióticos, mediante las cuales se obtienen micropartículas con diversas propiedades (Neekhra et al., 2022).

Una etapa importante previo a la encapsulación radica en la búsqueda y selección de los diferentes biomateriales empleados para la encapsulación, de esto dependerá la estabilidad de las partículas que serán producidas (Neekhra et al., 2022).

Las diferentes metodologías de microencapsulación utilizan biomateriales tales como alginato, pectina, gomas, entre otros. Estos materiales favorecen la supervivencia de los microorganismos a encapsular y no generan ningún daño para el consumidor al no presentar toxicidad. Además, es importante que estos materiales permitan la liberación controlada de los organismos encapsulados al tracto gastrointestinal (Samedi & Charles, 2019).

Los microorganismos con propiedades probióticas se comercializan cada vez más en forma de suplementos dietarios y en los alimentos funcionales, no obstante, a lo largo del tiempo el enfoque del consumo de probióticos se ha limitado a garantizar su funcionalidad manteniendo la viabilidad celular en las matrices alimentarias que tradicionalmente han sido vinculadas a productos fermentados (Muzzafar & Sharma, 2018), como fuente de nutrientes y otras sustancias que posean efectos beneficiosos a nivel fisiológico (Champagne et al., 2018).

La producción de alimentos con presencia probiótica es un desafío, especialmente debido a las dificultades de supervivencia y mantenimiento de las células probióticas agregadas a los alimentos en condiciones de procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo (Misra et al., 2022; Neekhara et al., 2022). En paralelo, la encapsulación celular se consolida como una alternativa para mejorar la supervivencia de probióticos añadidos a distintas matrices alimentarias. Por lo tanto, esta revisión aborda conceptos orientadores sobre los cultivos probióticos y la microencapsulación de microorganismos de interés. Además, se analizaron algunas tendencias de campo, como el uso de materiales encapsulantes de alto interés para la industria y los factores fisicoquímicos que tienen mayor relevancia en las diferentes técnicas de microencapsulación de probióticos destinados a matrices alimentarias.

Por último, este manuscrito muestra un análisis bibliométrico con la información suministrada en la base de *Web of Science* acerca de las tendencias de las publicaciones en microencapsulación de probióticos realizadas desde el año 2000 hasta el año 2022.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Establecer el estado del arte sobre la microencapsulación de microorganismos probióticos incorporados a matrices alimentarias.

3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un análisis comparativo de los materiales encapsulantes y los microorganismos utilizados en los procesos de microencapsulación de probióticos.
- Identificar los avances metodológicos y factores fisicoquímicos de los procesos de microencapsulación de microorganismos probióticos incorporados a diferentes matrices alimentarias.
- Realizar una exploración bibliométrica de la microencapsulación de microorganismos probióticos incorporados a matrices alimentarias.

4. METODOLOGÍA

4.1 Desarrollo de la revisión bibliográfica

Este estudio se desarrolló adaptando las pautas de reporte de revisiones sistemáticas descritas en la guía PRISMA (Page et al., 2021a), sin embargo, para abordar de mejor manera la literatura científica analizada, se empleó la guía de revisión de literatura científica desarrollada por (Durach et al., 2017).

4.1.2 Tipo de revisión

El presente proyecto es una monografía de análisis de experiencias, en donde se da informe con base en una serie de experiencias que se organizan para obtener conclusiones, hacer cotejos y estructurar un análisis crítico de la temática en microencapsulación de microorganismos probióticos en matrices alimentarias.

4.1.3 Procedimientos de búsqueda

Esta información se obtuvo de las bases de datos de Google Scholar, ScienceDirect, EBSCO y Scopus. El proceso de búsqueda se realizó entre el 15 de agosto de 2022 y el 20 de diciembre de 2022 utilizando las siguientes rutas de búsqueda bibliográfica:

Base de datos	Información de interés	Ruta de búsqueda
Google Académico	Probióticos	<i>(Microencapsulation AND Probiotics)</i>
ScienceDirect		TITLE <i>(Microencapsulation AND Probiotics)</i>
EBSCO		<i>(Microencapsulation AND Probiotics)</i>
Scopus		TITLE-ABS-KEY <i>(Microencapsulation AND Probiotics)</i>
Google Académico	Requisitos mínimos para el uso de	<i>(Probiotics AND Food safety)</i>
ScienceDirect		TITLE <i>(Probiotics AND Food safety)</i>

<i>EBSCO</i>	microorganismos	<i>(Probiotics AND Food safety)</i>
<i>Scopus</i>	probióticos	TITLE-ABS-KEY <i>(Probiotics AND Food safety)</i>
Google Académico	Mecanismo de acción de los probióticos	<i>(Probiotics AND Human Health)</i>
ScienceDirect		TITLE <i>(Probiotics AND Human Health)</i>
<i>EBSCO</i>		<i>(Probiotics AND Human Health)</i>
<i>Scopus</i>		TITLE-ABS-KEY <i>(Probiotics AND Human Health)</i>
Google Académico		Iniciativas regulatorias globales
ScienceDirect		TITLE <i>(Probiotics AND Regulatory Policy)</i>
<i>EBSCO</i>		<i>(Probiotics AND Regulatory Policy)</i>
<i>Scopus</i>		TITLE-ABS-KEY <i>(Probiotics AND Regulatory Policy)</i>
Google Académico	Análisis comparativo de los tipos de microorganismos y materiales encapsulantes	<i>(Microencapsulation AND Lactobacillus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Bifidobacterium)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Lactococcus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Streptococcus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Saccharomyces)</i>
ScienceDirect		TITLE <i>(Microencapsulation AND Lactobacillus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Bifidobacterium)</i>
	<i>(Microencapsulation AND Lactococcus)</i>	
	<i>(Microencapsulation AND Streptococcus)</i>	
	<i>(Microencapsulation AND Saccharomyces)</i>	
<i>EBSCO</i>		<i>(Microencapsulation AND Lactobacillus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Bifidobacterium)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Lactococcus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Streptococcus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Saccharomyces)</i>
<i>Scopus</i>		TITLE-ABS-KEY <i>(Microencapsulation AND Lactobacillus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Bifidobacterium)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Lactococcus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Streptococcus)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Saccharomyces)</i>
Google Académico	Avances metodológicos de los procesos de microencapsulación:	<i>(Microencapsulation AND Methods)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Freeze-Drying Technique)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Extrusion Technique)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Double Emulsion Technique)</i>
ScienceDirect		TITLE <i>(Microencapsulation AND Methods)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Freeze-Drying Technique)</i>
		<i>(Microencapsulation AND Extrusion Technique)</i>

		<i>(Microencapsulation AND Double Emulsion Technique)</i>
<i>EBSCO</i>		<i>(Microencapsulation AND Methods) (Microencapsulation AND Freeze-Drying Technique) (Microencapsulation AND Extrusion Technique) (Microencapsulation AND Double Emulsion Technique)</i>
<i>Scopus</i>		<i>TITLE-ABS-KEY (Microencapsulation AND Methods) (Microencapsulation AND Freeze-Drying Technique) (Microencapsulation AND Extrusion Technique) (Microencapsulation AND Double Emulsion Technique)</i>

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Criterios de elegibilidad y selección de los estudios

El proceso de selección de ítems se realizó con base en los criterios de elegibilidad que se muestran en la Tabla 1. La preselección se inició con el análisis de los títulos y resúmenes únicamente, y las discrepancias se resolvieron en base a discusión y consenso. Se siguió el mismo procedimiento en la segunda etapa, pero se examinó la versión completa del informe seleccionado.

Tabla 1. Criterios de elegibilidad y selección de estudios

Parámetros	Criterio de inclusión	Criterios de exclusión
Microencapsulación de microorganismos probióticos dispuestos en matrices alimentarias.	Si cumple.	No cumple.
Tipo de estudio.	Estudios que plantean diferentes metodologías de microencapsulación de probióticos.	Estudios con implicaciones biomédicas o clínicas. Estudios de microencapsulación de solo componentes bioactivos.

	<p>Estudios que evalúan la eficiencia de diferentes metodologías de microencapsulación.</p> <p>Estudios que adicionan los probióticos microencapsulados en diversas matrices alimentarias.</p> <p>Estudios que evalúan la viabilidad de los probióticos microencapsulados en matrices alimentarias.</p> <p>Estudios que evalúan la microencapsulación en conjunto con componentes bioactivos.</p> <p>Revisiones de tema en microencapsulación de probióticos.</p> <p>Revisiones de tema en metodología de microencapsulación.</p>	Estudios donde se sometan animales para evaluar los efectos de los probióticos microencapsulados.
Estado de la publicación.	<p>Estudios publicados en revistas indexadas.</p> <p>Versión completa.</p> <p>Publicados en entre el 2000-2022.</p>	Resúmenes de conferencia, editoriales, columnas, manifiestos
País de origen.	Sin restricción.	No aplica.
Idioma.	Sin restricción.	No aplica.

Fuente: Elaboración propia

Empleando la metodología PRISMA para revisiones sistémicas, se procede con la inclusión o el descarte de los artículos científicos que formaran parte de la presente revisión. Cabe resaltar que según las directrices de la herramienta se abordaron cuatro fases de depuración de la información, las cuales contemplan los siguientes requerimientos:

- 1. Identificación:** como primer paso se da la recopilación de todas las publicaciones acordes con la base en el título de la investigación. Aquellos artículos que se encuentre duplicados se descartan.
- 2. Tamizaje:** en esta fase se descartan aquellos artículos que no estén relacionados con el tema.
- 3. Elegibilidad:** Una vez que se han elegido se analizan de forma detallada para determinar si cumplen con los criterios de inclusión.
- 4. Inclusión:** en esta fase final se encuentran los artículos que han cumplido con los criterios de inclusión para la revisión sistemática.

La figura 1, detalla los requerimientos presentados en los cuatro pasos direccionados por la guía PRISMA para la revisión y posterior selección de los artículos a analizar en la presente revisión sistemática.

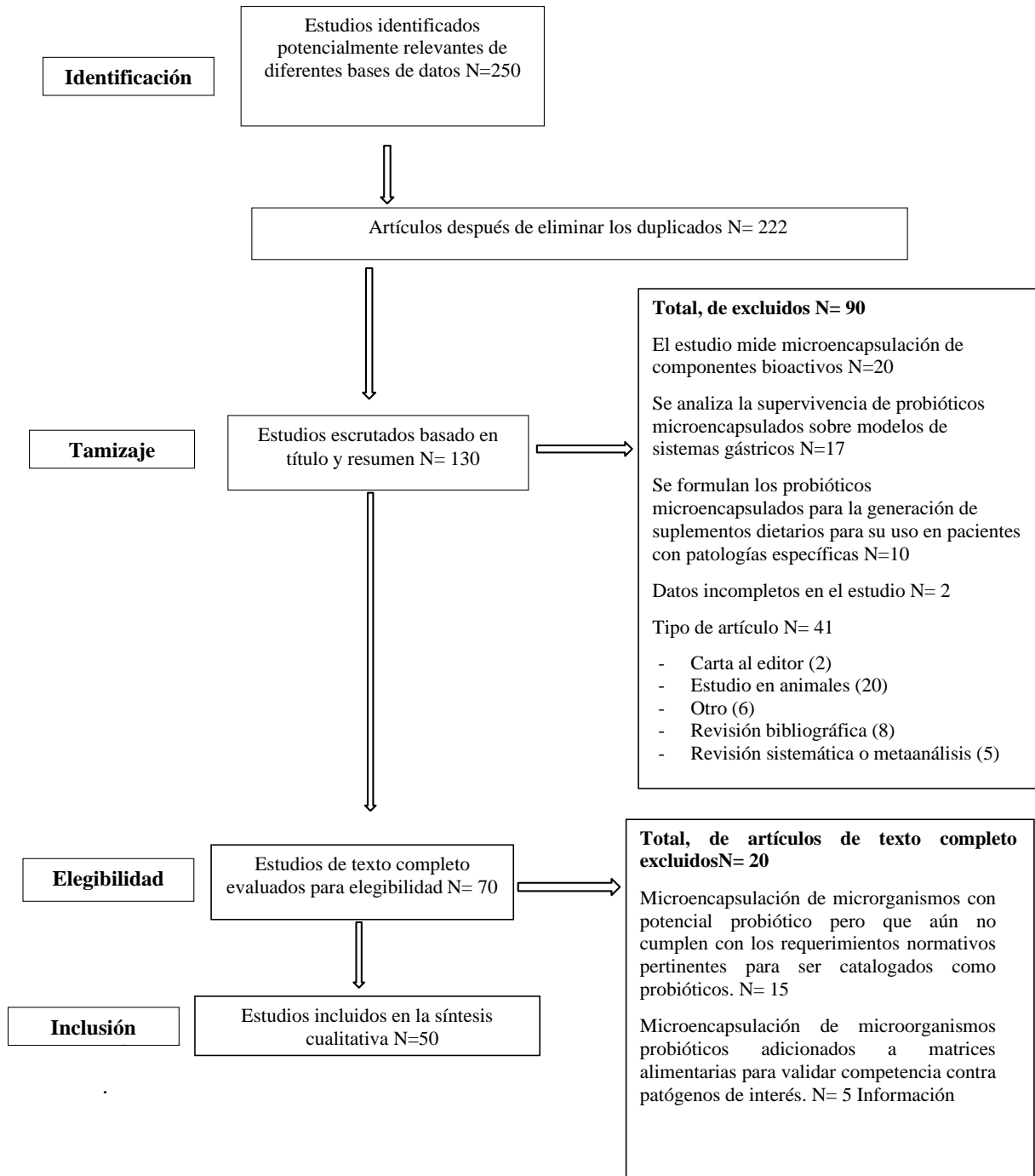


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA Fuente: (Page et al., 2021b)

4.1.5 Extracción de datos de la literatura potencialmente relevante

Una vez obtenidos los artículos finales, se creó una base de datos en Microsoft Excel para agrupar los artículos por proceso de microencapsulación y microorganismos encapsulados. Adicionalmente, hubo una sección dedicada a las matrices alimentarias utilizadas. Esta base de datos se dispuso en OneDrive para la revisión y depuración de información. La Tabla 2 resume cómo se realizó la extracción y limpieza de la información.

4.1.6 Síntesis de la información

Para la síntesis de la información, los diversos resultados fueron organizados, sintetizados y discutidos para determinar cómo, qué, por quién y bajo qué circunstancias se desarrollaron estos estudios. Para lograr estos objetivos, la investigación primaria (estudios de casos) se separó de la investigación secundaria (encuestas bibliográficas sobre los temas respectivos).

Tabla 2. Extracción de datos para la revisión sistemática propuesta en microencapsulación de probióticos

Referencias del estudio.	Autor/año, propósito de la publicación, estado de la publicación (artículo, libro, paper, etc.), tipo de estudio (caso, revisión, etc.).
Performance del estudio/ Función Objetivo.	Maximización de la viabilidad de los probióticos microencapsulados. Rendimiento de las técnicas de microencapsulación. Generación de nuevos alimentos funcionales. Grupos microbianos de preferencia en función a los métodos de microencapsulación. Avances metodológicos en función a las nuevas tecnologías y los grupos microbianos de interés.
Temporalidad.	Estática, dinámica.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Desarrollo de la exploración bibliométrica

El constante crecimiento de la información y el conocimiento se caracteriza por la formación de nuevas tecnologías de la información y la comunicación. Por tanto, la investigación científica y tecnológica y la difusión del conocimiento son actividades esenciales para satisfacer las crecientes necesidades sociales. En este contexto, el análisis matemático y estadístico se puede aplicar a cualquier fuente escrita en función de aspectos de la comunicación, teniendo en cuenta factores como el autor, el título de la publicación, el tipo de documento, el idioma, el resumen, las palabras clave o los descriptores. el método de (Solano López et al., 2009). Por lo tanto, la bibliometría se utiliza ahora como una herramienta para evaluar los logros académicos utilizando indicadores como:

- Productividad de la publicación.
- Productividad del autor.
- Productividad por autoridad emisora y ubicación emisora.
- Análisis de obras según temas.

La presente exploración bibliométrico comprende un análisis descriptivo de las publicaciones encontradas en la colección principal de la plataforma *Web of Science (WOS)* orientadas al estudio de “microencapsulación de microorganismos probióticos incorporados a matrices alimentarias”, la búsqueda se realizó el 10 de marzo del 2023 y comprendió los documentos publicados entre los años 2000 al 2022.

4.2.1 Elección de base de datos a emplear

La elección de la base de datos para el desarrollo del análisis bibliométrico, analizo la manera en la cual las bases de datos *Scopus* y *WOS* administran y manejan las publicaciones recopiladas. *Scopus* tiene la ventaja de una mayor medición de citas debido a la extensión de su cobertura de campo en ciencias físicas, ciencias de la salud, ciencias de la vida, ciencias sociales y humanidades. Mientras que *WOS* tiene más profundidad histórica en comparación con *Scopus* y se centra más en la ciencia, la tecnología, las ciencias sociales, las artes y las humanidades. Por lo tanto, *WOS* tiene la ventaja de proporcionar referencias de citas legítimas y superioridad de proyectos, ya que cubre publicaciones más antiguas en comparación con *Scopus* (Martín-Martín et al., 2018). Para poder determinar la calidad de la información a analizar por parte de ambas bases de datos, se procede a someter la ecuación de búsqueda en ambas bases, la tabla 3 recopila la información suministrada por las dos bases de datos sometidas a comparación.

Antes de 2004, *WOS* es la única base de datos completa que proporciona recuentos de citas. La cita es originalmente de *Science Citation Index*. Se rige bajo la jurisdicción del Instituto de Información Científica (ISI). ISI es la institución que desarrolló y produjo el *Science Citation Index* (SCI), Los principios básicos del proceso de selección de *WOS* consisten en objetividad, selectividad y dinámica de cobro. *WOS* tiene alrededor de 28 criterios utilizados para evaluar revistas.

Posterior a la comparación de los resultados que se obtuvieron en ambas bases de datos se decide emplear *WOS* como base de datos de elección debido a la calidad de la información depositada y la pertinencia con el estudio de interés de la presente revisión.

Tabla 3. Comparación de las bases de datos Scopus y WOS

Base de datos utilizada	Ecuación de búsqueda	Artículos encontrados	Distribución
Scopus	TITLE-ABS-KEY (microencapsulation AND probiotic) OR (microencapsulation AND <i>Lactobacillus</i>) OR (microencapsulation AND <i>Bifidobacterium</i>) OR (microencapsulation AND <i>Streptococcus</i>) OR (microencapsulation AND <i>Lactococcus</i>) OR (microencapsulation AND <i>Saccharomyces</i>) OR (microencapsulation AND <i>Enterococcus</i>)	1396	Artículos:1099 Artículos de revisión:173 Capítulos de libro:60
Web of Science (WOS)	TITLE (microencapsulation AND probiotic) OR (microencapsulation AND <i>Lactobacillus</i>) OR (microencapsulation AND <i>Bifidobacterium</i>) OR (microencapsulation AND <i>Streptococcus</i>) OR (microencapsulation AND <i>Lactococcus</i>) OR (microencapsulation AND <i>Saccharomyces</i>) OR (microencapsulation AND <i>Enterococcus</i>)	1652	Artículos:1471 Artículos de revisión:162 Capítulos de libro:3

Fuente: Scopus y WOS

4.2.2 Creación de algoritmo de búsqueda

La creación del algoritmo de búsqueda incluyó el término “*Microencapsulation*” como metodología de interés para la búsqueda, seguido de los nombres científicos alusivos a los géneros microbianos más utilizados como probióticos. Para definir los géneros a tener en consideración en la ecuación de búsqueda la tabla 4 integra las publicaciones obtenidas en *Web of Science*, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 4. Géneros microbianos más empleados como probióticos

Ecuación de búsqueda	Artículos encontrados	Distribución
(microencapsulation AND <i>Lactobacillus</i>)	1228	Artículos:1104 Artículos de revisión:112 Capítulos de libro:1
(microencapsulation AND <i>Bifidobacterium</i>)	426	Artículos: 376 Artículos de revisión:47 Capítulos de libro:0
(microencapsulation AND <i>Saccharomyces</i>)	175	Artículos:157 Artículos de revisión:18 Capítulos de libro:0
(microencapsulation AND <i>Lactococcus</i>)	82	Artículos:58 Artículos de revisión:23 Capítulos de libro:0
(microencapsulation AND <i>Streptococcus</i>)	56	Artículos:51 Artículos de revisión:5 Capítulos de libro:0
(microencapsulation AND <i>Enterococcus</i>)	48	Artículos:46 Artículos de revisión:1 Capítulos de libro:0

Fuente: *Web of Science*

Cada asociación de palabras clave fue introducida de forma independiente en un campo de búsqueda y a su vez todas fueron conectadas por el operador booleano “OR” que permitió incluir todos los trabajos correlacionados en la búsqueda realizada. Como resultado se obtuvo la siguiente ecuación de búsqueda:

TEMA: (microencapsulation AND probiotic) OR TEMA: (microencapsulation AND lactobacillus

) OR TEMA: (microencapsulation AND Bifidobacterium) OR TEMA: (microencapsulation

AND Streptococcus) OR TEMA: (microencapsulation AND Lactococcus) OR TEMA: (microen

capsulation AND Saccharomyces) OR TEMA: (microencapsulation AND Enterococcus)

Una vez refinada la ecuación de búsqueda, se procede con el análisis de la información encontrada mediante las herramientas de software VOSviewer (Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). *Software Survey VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. Scientometrics, 84, 523-538.* - *References - Scientific Research Publishing, n.d.*) y Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017), las cuales se emplearon para realizar los análisis de frecuencias de autores, revistas, artículos y análisis de redes o interacciones entre revistas, países, palabras clave y autores donde se crearon mapas basados en datos de red, la coautoría, la coocurrencia, la cita, el acoplamiento bibliográfico y los enlaces de cocitaciones que serán detallados en el capítulo 3 del presente estudio.

CUERPO DEL TRABAJO

El uso de cultivos probióticos es un tema de amplia publicación en bases de datos. De esta forma en la base de datos *Scopus* la búsqueda solamente con la palabra “*probiotics*” puede incluso arrojar más de setenta mil resultados publicados. Lo anterior nos demuestra la importancia, vigencia del tema central y actualmente de su evolución con el uso de técnicas de encapsulación y la diversificación en numerosas matrices alimentarias. Todos estos temas serán relacionados a continuación.

CAPÍTULO 1. PROBIÓTICOS

El uso del término probiótico fue formalizado en el año 1953, la primera persona en emplearlo fue el médico de origen alemán Werner Kollath (Pace et al., 2020). El término fue utilizado para poder describir a las “sustancias activas que son esenciales para un desarrollo saludable de la vida”, es de resaltar que la definición actual se encuentra más cercana a la planteada por Parker (1974) “organismos y sustancias que contribuyen al equilibrio microbiano intestinal” (Spinler et al., 2016). En el año 2001, la FAO en conjunto con la OMS designaron a los probióticos como “microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren una salud beneficio para el huésped” (FAO et al., 2001), Dicha definición no ha presentado variaciones representativas visto esto bajo la luz de la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos (ISAPP) (Hill et al., 2014).

La historia de los probióticos, sin embargo, parece coincidir estrechamente con la historia humana, cuando la humanidad comenzó a cultivar reemplazando la caza y la recolección alrededor de 10.000 años atrás, inicio con la producción de alimentos y bebidas fermentados, muchos de los cuales todavía están en uso hoy en día, incluidos el yogur, el kéfir, el kimchi, chucrut, tempeh, miso y kombucha, que forman parte de las dietas en diferentes culturas y etnias. En la actualidad, los microorganismos probióticos pertenecen principalmente a los grupos de bacilos productores de ácido láctico BAL, una colección de diferentes géneros, incluidos *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* y Bifidobacterias entre otros (Ver tabla 5). Durante las últimas tres décadas, su potencial terapéutico ha sido evaluado en un gran número de estudios experimentales y clínicos. En particular, el uso de probióticos en diferentes condiciones clínicas que van desde alergias y atopia, infecciones, diarrea, trastornos funcionales y enfermedad inflamatoria intestinal, así como trastornos

urogenitales, metabólicos, neurológicos y hepáticos, ha recibido considerable atención científica y comercial.

Tabla 5. Principales microorganismos empleados como probióticos en la industria alimentaria

Genero	Especie	Características	Aplicación	Referencia
<i>Lactobacillus</i>	<i>Lactobacillus lactis</i>	Este género de bacterias está constituido por organismos anaerobios facultativos, Gram Positivos, con la capacidad de fermentar múltiples carbohidratos	Alimentos funcionales	(R. Huang et al., 2022a; Mörschbacher & Granada, 2022; Petrova et al., 2021; Soares et al., 2019; Zhang et al., 2020)
	<i>Lactobacillus plantarum</i>		Lácteos, alimentos funcionales	
	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>		Alimentos funcionales	
	<i>Lactobacillus casei</i>		Alimentos funcionales	
	<i>Lactobacillus casei subsp. Paracasei</i>		Lácteos, alimentos funcionales, bebidas, galletas, confitería, helados	
	<i>Lactobacillus paracasei subsp. Paracasei</i>		Alimentos funcionales	
	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>		Alimentos funcionales	
	<i>Lactobacillus acidophilus</i>		Lácteos y alimentos funcionales	
<i>Bifidobacterium</i>	<i>Lactobacillus fermentum</i>	Alimentos funcionales		
	<i>Bifidobacterium animalis</i>	<i>Bifidobacterium</i> es un género de bacterias gram-positivas, anaeróbicas, no móviles, con frecuencia de aspecto ramificado, Productoras de ácido láctico y acético.	alimentos funcionales	(Arboleña et al., 2016; Guo et al., 2022; Jena et al., 2017; Kim et al., 2020; Martínez et al., 2013)
	<i>Bifidobacterium lactis</i>		Alimentos en general	
	<i>Bifidobacterium longum</i>			
	<i>Bifidobacterium breve</i>			
<i>Bifidobacterium infantis</i>				
<i>Streptococcus</i>	<i>Streptococcus salivarius</i>	Especie de bacterias e sféricas gram-positiva, son homofermentativas y tienen la facultad de generar múltiples ácidos orgánicos a raíz de sus procesos fermentativos	Lácteos y alimentos funcionales	(Delorme et al., 2015; Jans et al., 2017; Srikkham & Thirabunyanon, 2022; Tarrah et al., 2018)
	<i>Streptococcus thermophilus</i>			
<i>Saccharomyces</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Levaduras con capacidad de fermentar múltiples carbohidratos para generar ácidos orgánicos y alcohol.	Bebidas alcohólicas, lácteos y alimentos funcionales	(Gu et al., 2022; Lima et al., 2017)
	<i>Saccharomyces boulardii</i>			

1.1 Conceptos afines a la actividad probiótica

Prebiótico:

Los prebióticos son considerados un ingrediente alimentario que juega un papel vital en la modulación positiva de la microbiota intestinal. Por ende, los prebióticos se constituyen como una fuente de sustrato que será empleada por los microorganismos de interés y que además podrá generar beneficios en la salud del consumidor (Adigüzel et al., 2022). Los prebióticos solo se consideran funcionales al llegar al colon. Por lo que, los prebióticos no digeribles serán consumidos por la microbiota intestinal predominante, lo pueden ser *Bifidobacteria spp.*, *Lactobacillus spp.* y otros taxa que incluyen algunos géneros como *Eubacterium*, *Roseburia* o *Faecalibacterium spp.* (Fan et al., 2023a).

Microbiota:

La microbiota es una población diversa y extensa de microorganismos, los cuales se encuentran en todas las partes del cuerpo, con un promedio de 10^{14} bacterias y 100 hasta 500 especies por individuo (Fan et al., 2023b).

Paraprobióticos:

Los paraprobióticos están definidos como estructuras celulares de algunos microorganismos o microorganismos que no se encuentran metabólicamente activos, los cuales al ser dosificados en concentraciones adecuadas le brindan beneficios a la salud de los consumidores (Barros et al., 2021). Para el desarrollo de los paraprobióticos se utilizan fragmentos celulares de microorganismos que no exhiben ningún potencial patógeno y que además cumpla con los

requisitos estipulados por la regulación de nuevos alimentos de la Unión Europea (Almada et al., 2021).

Posbióticos:

Los posbióticos están constituidos por aquellas moléculas que son sintetizadas por bacterias vivas, expresadas como subproducto metabólico o también son factores secretados que son liberados al darse procesos de lisis celular. La particularidad de estos compuestos es que tienen un efecto positivo sobre la salud del consumidor (Cuevas-González et al., 2020).

Bacteriocinas:

Son moléculas con actividad antimicrobiana, las cuales están constituidas por péptidos o proteínas, dichos compuestos son sintetizados por diversas especies bacterianas, en donde las BAL se constituyen como los organismos de mayor interés para la producción de estos compuestos (de Marco et al., 2022).

GRAS (*Generally recognized as safe*):

El término GRAS hace alusión al acrónimo de la frase "*Generally Recognized As Safe*", que al español se posiciona como Generalmente Reconocido Como Seguro, esta connotación es utilizada para poder designar a aquellas sustancias que tienen potencial uso como aditivo alimentario según la FDA (*Generalmente Reconocido Como Seguro (GRAS) | FDA, n.d.*).

1.2 Factores de evaluación para determinar la seguridad de las cepas probióticas

A raíz de la creciente investigación en nuevos microorganismos con potencial probiótico, se hace necesario que las nuevas cepas sin documentación de seguridad establecida sean evaluadas antes de que estas se utilicen en alimentos para consumo humano. Entre todos los efectos secundarios potenciales derivados de la ingesta de microorganismos con potencial actividad probiótica, las infecciones sistémicas oportunistas se han considerado como una de las preocupaciones más importantes que se han observado en muchas ocasiones (Dordević et al., 2021). El huésped humano, en condiciones normales de salud, está protegido por capas de mecanismos constitutivos efectivos (superficies de la piel y mucosas; transferrina, fagocitos, complemento) y defensa específica (anticuerpos y células T citotóxicas). La superficie mucosa del TGI está cubierta por una gruesa capa de moco que ayuda a controlar la microbiota normal del tracto intestinal y la contiene en sus sitios de residencia naturales y evita que invadan y entren en el torrente sanguíneo (Frenkel & Ribbeck, 2015).

Para completar un proceso de infección, es necesario además que las células bacterianas estén dotadas de ciertos factores de virulencia que puedan promover su colonización, invasión y escape del complejo sistema de defensa del huésped (Finlay & Falkow, 1997). Se han descrito para un patógeno tradicional muchos factores de virulencia, como la capacidad para degradar excesivamente la mucina o liberar proteasas *s/gA*, motilidad y quimiotaxis, presencia de cápsulas o lipopolisacáridos, propiedades de adhesión bien desarrolladas y capacidad para escapar de la acción de atrapamiento de la capa de mucina. El potencial de adhesión de estas cepas a la mucosa intestinal y la posterior colonización se consideran pasos importantes para la

patogenicidad porque pueden prolongar la persistencia en el intestino e implicar en bacteriemia (Dani et al., 2016).

La dosis recomendada de probióticos es bastante alta, por lo que la asociación de cualquier propiedad de virulencia puede tener consecuencias perjudiciales (Bunesova et al., 2015). Por lo tanto, los probióticos deberían ser extremadamente seguros y no deberían representar ningún riesgo para el huésped. Se han aplicado varios enfoques que incluyen modelos animales tanto in vitro como in vivo para la evaluación de la seguridad de los probióticos. (Donohue et al., 1996) proporcionaron algunos métodos para evaluar la seguridad de las bacterias del ácido láctico mediante el uso de estudios in vitro y en animales, así como estudios clínicos en humanos. (Salminen et al., 1998) también propusieron estudios sobre las propiedades intrínsecas, la farmacocinética y las interacciones entre el huésped y los probióticos como medios para evaluar la seguridad de los probióticos. Posteriormente, (Ishibashi & Yamazaki, 2001) sugirieron parámetros como la patogenicidad, la infectividad y los factores de virulencia que comprenden la toxicidad, la actividad metabólica y las propiedades intrínsecas de los microbios como factores que deben abordarse en la evaluación de la seguridad de los probióticos. Para la ejecución de los ensayos enfocados a validar la seguridad de los organismos que serán empleados como posibles probióticos se debe realizar análisis in vitro enfocados a validar la ausencia de mecanismos enzimáticos y metabólicos relacionados con la capacidad de desarrollar daño tisular y capacidad de virulencia del organismo a testear (Castro-López et al., 2021).

Diferentes organismos reguladores han recomendado diversos enfoques para evaluar la seguridad de las bacterias probióticas. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha introducido criterios de Presunción cualificada de seguridad (QPS) que incluyen aquellos

grupos de microorganismos considerados seguros para el consumo. Los QPS se establecen sobre cuatro pilares:

1. Taxonomía
2. Recopilación de información, incluida cualquier literatura científica, historial de uso, aplicaciones industriales, datos ecológicos y datos de intervención humana
3. Exclusión de patogenicidad
4. Definición del uso final (Pradhan et al., 2020).

1.3 Requisitos mínimos para el uso de microorganismos probióticos

El creciente uso de microorganismos enmarcados en la categoría de probióticos ha supuesto un desafío en términos del uso debido. Ante ello se relacionan algunas de las condiciones necesarias para el uso adecuado de dichos microorganismos:

- 1) Los microorganismos deben administrarse vivos y en suficientes cantidades
- 2) Las cepas deberán ser identificadas genéticamente, asignándoles letras, números o nombres, y categorizadas de acuerdo con la nomenclatura vigente.
- 3) Se deben realizar experimentos organizados y del tamaño adecuado para designar una cepa como probiótico, así como la(s) cepa(s) que se usan en el huésped (como humanos, ganado, animales de compañía, etc.) para los que están destinados los probióticos
- 4) Es posible que las cepas que han demostrado ayudar con una dolencia no ayuden con otra
- 5) A lo largo del procedimiento de prueba, las cepas probióticas humanas utilizadas en estudios con animales deben etiquetarse como tales (Reid et al., 2019).

1.4 Mecanismo de acción de los probióticos

Además de sus beneficios, el modo de acción de los probióticos se ha definido vagamente como el de mejorar el "equilibrio microbiano" del huésped o el equilibrio del entorno ambiental, es conocido entonces que estos microorganismos protegen las membranas epiteliales de los microorganismos patógenos al pasar por el estómago y las membranas mucosas cuando se consumen por vía oral. Bacterias probióticas como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* pueden generar ácidos orgánicos, como lo son el ácido láctico, el ácido propiónico y el ácido acético, los cuales reducen el pH e inhiben el crecimiento de bacterias patógenas. También se ha planteado la hipótesis de que su papel en la inmunomodulación es un mecanismo de acción (C. Liu et al., 2022; Roe et al., 2022a).

Lactobacillus contiene 261 especies que son extremadamente diversas a nivel fenotípico, ecológico y genotípico. Debido a que el género *Lactobacillus* se reclasificó en 25 géneros, incluido el género modificado *Lactobacillus* (Oberg et al., 2022). Los compuestos antimicrobianos producidos por los probióticos atacan las infecciones, limitan los sitios de adhesión, compiten por los nutrientes, destruyen los receptores de toxinas y modulan la inmunidad. El mecanismo teórico de la acción probiótica se resume aquí:

- 1) Evitar que los microorganismos patógenos se adhieran al epitelio intestinal al competir por un nicho o espacio físico en las paredes intestinales (M. Wang et al., 2021b).
- 2) Inhibir el crecimiento de bacterias patógenas mediante la secreción de péptidos antimicrobianos, como mecanismo de acción ante la posible colonización de dichos patógenos (Chapman et al., 2012).

3) Mantener niveles normales de ácidos grasos de cadena corta al fermentar los carbohidratos no digeribles, como resultado se obtienen principalmente acetato, propionato y butirato y muchos otros metabolitos y gases (Chang et al., 2021a).

4) Promover la multiplicación de colonocitos para reparar la permeabilidad intestinal, al ser precursores de la reparación de la barrera intestinal, lo que promueve el restablecimiento de las uniones estrechas a nivel epitelial (Fernández et al., 2016).

5) Aumenta la absorción de electrolitos intestinales al promover el equilibrio intestinal adecuado. En condiciones normales, hay una absorción neta de agua en el intestino en respuesta a los gradientes osmóticos resultantes de la captación y secreción de iones y la absorción de nutrientes. (Dhopatkar et al., 2023).

6) Mejorar la respuesta inmunológica sistémica al inducir la producción de citoquinas e incluso ayudan a regular los procesos inflamatorios. Además, estimulan la acción de los fagocitos (Lehtinen et al., 2022).

7) Regular el metabolismo de los lípidos, al estar inmersos en los procesos de fermentación de los prebióticos, principalmente el acetato propionato que alcanza al hígado, el cual es un marcador intermedio, que puede ser usado como predictor de las propiedades hipolipemiantes de los probióticos (Ugbaja et al., 2020).

8) Suprimir las citocinas proinflamatorias intestinales, ya que inducen la producción de la IL-10 en los seres humanos, además de fomentar el desarrollo de linfocitos T (Aygün et al., 2022).

9) Normalizar las comunidades microbianas intestinales perturbadas en niños y adultos (Dimidi et al., 2017).

10) Promueve la producción de bacteriocinas, sustancias con efectos antibacterianos. Entre estos compuestos destacan algunos como ácidos de cadena corta como el ácido láctico y metabolitos como el peróxido de hidrógeno y el diacetilo. Estos compuestos reducen el número de células viables y afectan el metabolismo bacteriano y la producción de toxinas (O'Shea et al., 2012).

11) Mejorar la actividad enzimática al potenciar la degradación de componentes específicos, lo que permite tener equilibrio a nivel metabólico (Abdel-Latif et al., 2023).

12) Propiciar la adhesión celular, antagonismo celular y producción de mucina (Chang et al., 2021b).

13) Modular el sistema inmunológico ante alergias ya que son capaces de frenar la respuesta de las células que participan en la alergia (Tao et al., 2022).

14) Aumentar la interacción con el eje cerebro-intestino (Zhang et al., 2023).

Son múltiples los beneficios al consumidor reportados por la ingesta de probióticos, ante esto la Figura 1 recopila los principales beneficios reportados, en donde se puede resaltar la modificación de la microbiota intestinal. La colonización microbiana del aparato digestivo durante la infancia es un proceso esencial es por ellos que su modulación con el empleo de probióticos es una alternativa altamente empleada para el tratamiento de diversas patologías.

También en la Figura 2 se resaltan la actividad regulatoria del metabolismo de los lípidos y el sistema inmunológico, lo cual se ve altamente influenciado por todos los metabolitos generados a raíz de la degradación de compuestos como carbohidratos y demás moléculas de interés.

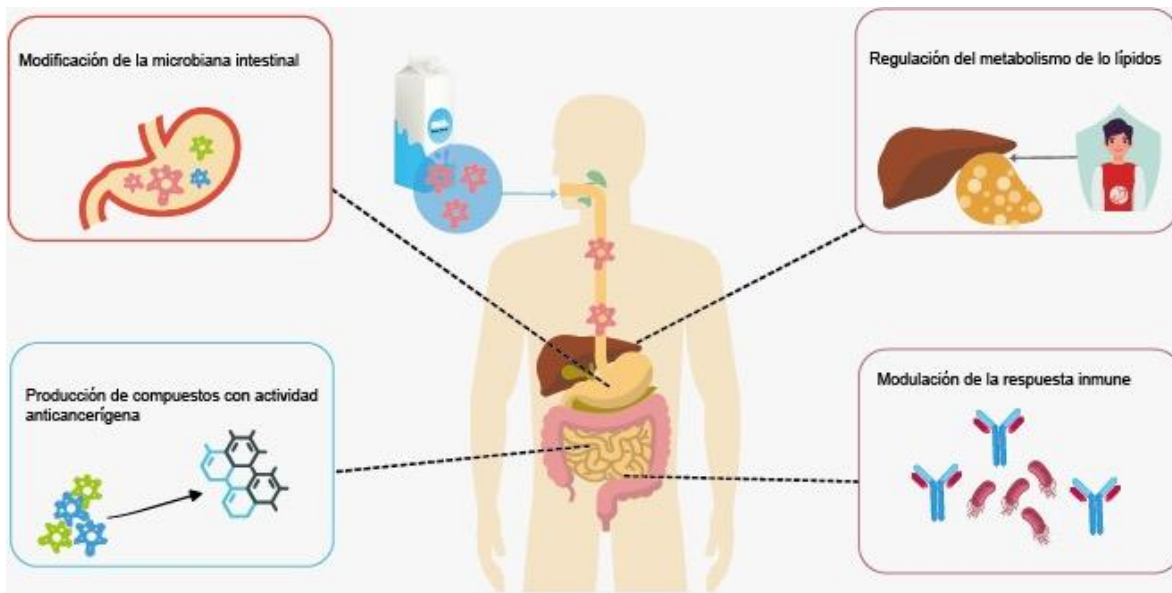


Figura 2. Beneficios de la ingesta de productos suplementados con microorganismos probióticos microencapsulados (Fuente: Elaboración propia)

1.5 Uso de los probióticos como parte del tratamiento de enfermedades

El uso de antibióticos ante la aparición de patologías infecciosas es una terapia incapaz de diferenciar la carga microbiana benéfica de la patogénica, lo cual promueve la alteración de la microbiota y causa deficiencia de vitaminas en el cuerpo humano (X. Liu et al., 2023). Los probióticos son colonias de bacterias que viven en nuestros intestinos y son considerados un "órgano" metabólico debido a sus efectos benéficos para la salud humana. Se utilizan en entornos clínicos para prevenir y tratar afecciones y su papel fundamental se encuentra en la profilaxis y el uso terapéutico para una variedad de enfermedades (Tegegne & Kebede, 2022).

La tabla 6 recopila los resultados del uso de microorganismos con propiedades probióticas sobre patologías de interés a nivel médico. Se puede resaltar la diversidad de cepas probióticas utilizadas y los múltiples beneficios reportados para la salud humana.

Tabla 6. Uso de microorganismos con propiedades probióticas sobre patologías de interés médico

Cepa probiótica	Beneficios reportados	Referencia
<i>Bacillus clausii</i> UBBC-07	Los resultados indicaron que la cepa probiótica afectó la microbiota intestinal y la secreción de citoquinas y mostró eficacia en pacientes con Enfermedad inflamatoria intestinal	(Bamola et al., 2022a)
<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Bifidobacterium longum</i> <i>Enterococcus faecalis</i>	El tratamiento con probióticos puede mejorar eficazmente los síntomas de estreñimiento de los pacientes con párkinson y afectar positivamente a la microbiota intestinal.	(Du et al., 2022)
<i>Limosilactobacillus fermentum</i> GR-3	El probiótico regula el microbioma intestinal y el metabolismo para reducir el nivel de ácido úrico	(Zhao et al., 2022)
<i>Bacillus subtilis</i>	El probiótico disminuyó significativamente a <i>S. aureus</i> en el principal sitio de colonización intestinal, por lo tanto, el estudio comprobó una terapia para controlar la colonización de <i>S. aureus</i> en humanos	(Piewngam et al., 2023)
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Limosi</i>	El estudio demostró que el consorcio utilizado tiene potencial en la prevención de la dislipidemia	(Marquez et al., 2022)

<i>Lactobacillus fermentum</i>	y la hiperglucemia en personas	
<i>Lactobacillus paraplantarum</i>	obesas.	
<i>Lactobacillus paracasei</i>	El uso de la terapia con probióticos	(Agraib et al., 2022)
<i>Lactobacillus gasseri</i>	había inducido significativamente	
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	la remisión en pacientes con colitis	
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	ulcerosa, la terapia con	
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	probióticos tuvo un	
<i>Lactobacillus plantarum</i>	efecto apropiado sobre los	
<i>Lactobacillus casei</i>	cambios en los niveles de	
<i>Lactobacillus reuteri</i>	hemoglobina, hematocrito y	
<i>Lactococcus lactis</i>	proteína C reactiva.	
<i>Bifidobacterium animalis</i>		
<i>subsp. lactis</i>		
<i>Bifidobacterium breve</i>		
<i>Bifidobacterium longum</i>		
<i>subsp. Longum Bifidobacterium</i>		
<i>bifidum</i>		
<i>Bifidobacterium longum</i>		
<i>subsp. Infantis</i>		
<i>Streptococcus thermophilus</i>	El probiótico mejora la fuerza	(Karim et al., 2022)
<i>Bifidobacterium longum</i>	muscular y el rendimiento	
<i>Bifidobacterium breve</i>	funcional en	
<i>Lactobacillus delbrueckii subsp.</i>	Pacientes con enfermedad	
<i>Bulgaricus</i>	pulmonar obstructiva crónica.	

1.6 Iniciativas regulatorias globales sobre la seguridad de los probióticos

Independientemente de etiquetarlos como "probióticos", estos ingredientes son ampliamente comercializado para su uso en alimentos y complementos alimenticios en todo el mundo. Sin embargo, los requisitos reglamentarios de seguridad varían mucho de un país a otro. Las autoridades reguladoras pueden simplemente considerar el historial de uso seguro de la especie microbiana o puede ampliar el alcance para incluir una revisión detallada de la información a nivel de cepa, incluida la caracterización genotípica y fenotípica, estudios de toxicidad en animales y, en algunos casos limitados, ensayos clínicos en humanos. Aunque puede haber un acuerdo general entre las autoridades regulatorias mundiales sobre los principios básicos de seguridad que deben establecerse para los probióticos, existe poco consenso sobre los tipos específicos de estudios y métodos para confirmar la seguridad (Roe et al., 2022b).

Los documentos de orientación de la Consulta conjunta de expertos de la OMS/FAO (FAO/OMS 2001) y del Grupo de trabajo (FAO/OMS, 2002) se han utilizado para formar una base de estructuras regulatorias para los probióticos en varios países, incluida Indonesia (Badan Pengawas Obat Dan Makanan, 2021), Malasia (Ley de Alimentos de Malasia, 1985), Filipinas (República de Filipinas, 2004) y Tailandia (Ministerio de Salud Pública de Tailandia, 2012). Se publicaron listas de especies/cepas probióticas aceptables desde una perspectiva de seguridad en las reglamentaciones nacionales de Malasia, Filipinas, Corea y Tailandia, entre otros. Muchos esfuerzos paralelos también han dado como resultado un paisaje fundamental para los probióticos, y desde 2002, la IDF y la Asociación Europea de Cultivos de Alimentos y Piensos (EFFCA) han estado colaborando en la determinación de la seguridad de los cultivos de alimentos microbianos. Como resultado, se publicó el Boletín FIL-IDF 377-2002 (Bourdichon et al., 2019). Las actualizaciones posteriores de la colaboración IDF/EFFCA continúan brindando

actualizaciones sobre los microorganismos utilizados en los alimentos (Boletín de la Fundación Internacional de Productos Lácteos, 2012; 2018, 2022), lo que aumenta la evidencia de un historial seguro de uso de estas especies.

1.6.1 Normativa y regulaciones colombianas en torno al uso de los probióticos

Actualmente en Colombia los probióticos están enmarcados en la categoría de suplementos dietarios y alimentos con probióticos, de allí que en el país se tenga la definición de probiótico en concordancia por lo definido por parte de la FAO/ WHO1 (Resolución No. 810 de 2021, n.d.) Según las definiciones estipuladas por el ministerio de salud colombiano, los alimentos y los suplementos dietarios son categorías independientes reguladas en marcos normativos separados. Razón por la cual la evaluación de seguridad y eficacia de probióticos en Colombia es realizada por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA haciendo cumplir los reglamentos establecidos por el Ministerio de Salud y Protección Social.

Las evaluaciones son gestionadas a través de la Dirección de Alimentos y Bebidas o por el Grupo de fitoterapéuticos, medicamentos homeopáticos y suplementos dietarios de la Dirección de Medicamentos y Productos Biológicos. Adicionalmente, el INVIMA cuenta con un panel científico asesor conocido como la Comisión Revisora, el cual cuenta con varias salas, entre ellas, la Sala Especializada de Alimentos y Bebidas – SEAB, y la Sala Especializada de Productos Fitoterapéuticos y Suplementos Dietarios – SEPFSD. Para los alimentos, la evaluación de seguridad es voluntaria y se debe presentar a la SEAB. Para el caso de los suplementos dietarios, la evaluación de seguridad es obligatoria, la cual se puede cumplir presentado un dossier de solicitud ante la SEPFSD o justificando que el probiótico es seguro amparándose en el

reconocimiento la evaluación de seguridad realizadas por al menos una de las regulaciones de referencia (Andrés & Perdomo, n.d.).

CAPITULO 2. MICROENCAPSULACIÓN DE CULTIVOS PROBIÓTICOS

El incremento del interés de los diversos consumidores por alimentos funcionales en busca de dietas más saludables ha supuesto un desafío para la industria alimentaria debido a que los productos funcionales que contienen probióticos generalmente están disponibles en diversas matrices lácteas (Cunningham et al., 2021), esto sujeto a que estos alimentos proveen las condiciones necesarias para que estos microorganismos puedan mantener su viabilidad y concentración a través del tiempo de vida útil de la matriz en cuestión (Mousavi et al., 2019).

Debido a que los productos lácteos poseen altas cantidades de lípidos y abundantes proteínas algunos consumidores presentan limitaciones para el consumo de dichos productos si consideramos la intolerancia a la lactosa, alergias a la proteína de la leche, la prevalencia del colesterol alto y el vegetarianismo (Cunningham et al., 2021; Mousavi et al., 2019). Es por ello por lo que se hace necesario desarrollar diversas técnicas de microencapsulación como una alternativa prometedora para la viabilidad de los probióticos en matrices alimentarias complejas (Chan & Liu, 2022; Figueiredo et al., 2022a), que contemplen el uso de diversos materiales biocompatibles y que se adapten a los diferentes procesos de manufacturas de las nuevas matrices alimentarias de interés (Martín et al., 2015; Reque & Brandelli, 2021).

Aunque ampliamente utilizados, los microorganismos probióticos presentan limitaciones, ya que muchos pueden verse afectados por varios factores como la concentración de oxígeno, presencia de peróxido de hidrógeno, variaciones de pH y temperatura, entre otros. Por tanto, la microencapsulación se ha convertido en una estrategia para proteger las células probióticas y

potenciar su efecto beneficioso. La figura 3 detalla las técnicas de microencapsulación más utilizadas en la actualidad en función al tipo de microorganismo probiótico que se desea microencapsular. El proceso de microencapsulación involucra microorganismos con materiales adecuados para proteger y controlar la liberación de los microorganismos microencapsulados. Por lo tanto, la microencapsulación de probióticos es un enfoque que puede mejorar la resistencia de los microorganismos encapsulados a condiciones adversas (Dhakal & He, 2020). En general, es un proceso fisicoquímico o mecánico en el que las células bacterianas quedan atrapadas en materiales encapsulantes con diferentes propiedades que pueden reducir o inhibir el daño o las pérdidas celulares de los microorganismos encapsulados (Vivek et al., 2023a).

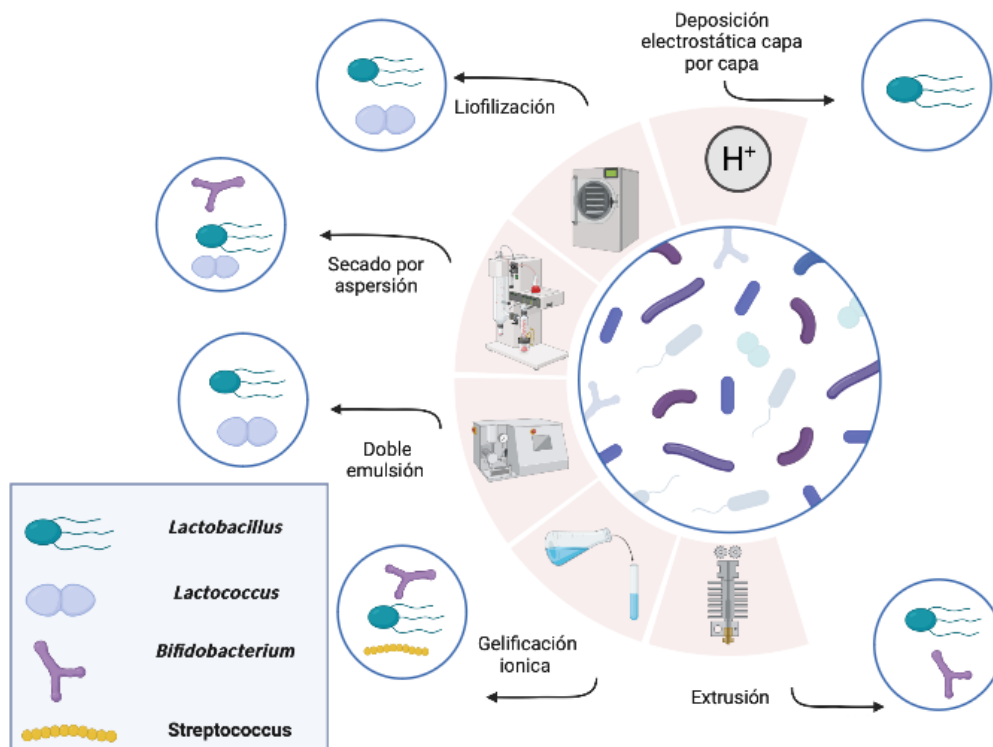


Figura 3. Principales técnicas de microencapsulación en función a los géneros más encapsulados (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se detallan los fundamentos de las principales técnicas de microencapsulación empleadas en la actualidad:

Técnica por extrusión: Ampliamente utilizada para encapsular células bacterianas, la técnica de extrusión es simple, fácil de usar y presenta un bajo costo, además de ser un proceso relativamente suave, lo que asegura una alta viabilidad de las células encapsuladas (Seth et al., 2017a). Básicamente, esta técnica implica el uso de soluciones de hidrocoloides que contienen cultivos microbianos, que se extruyen a través de una boquilla en solución de reticulación, proporcionando la transición instantánea de la solución de hidrocoloide a gel, culminando en la formación de perlas. El gel resultante es comúnmente estable en medios ácidos, pero se desintegra en ambiente alcalino (Favaro-Trindade et al., 2020).

Técnica de emulsión: Una emulsión es la dispersión de dos líquidos inmiscibles con un agente estabilizador, que suele presentar una mayor afinidad por la fase continua que por la fase dispersa. Además, se puede usar un agente solidificante para separar las gotas de la fase dispersa de la fase continua (H. Wang H. et al., 2015). Si la fase dispersa es acuosa, la emulsión se denomina emulsión agua en aceite (W/O), mientras que lo contrario se conoce como emulsión aceite en agua (O/W) o fase inversa. Ambos casos, formados únicamente por dos fases, se denominan emulsiones simples. Añadiendo una fase más se obtienen emulsiones dobles, como emulsiones de agua en aceite en agua (W/O/W) o aceite en agua en aceite (O/W/O) (Mutaliyeva et al., 2017). Estos sistemas emulsionados se pueden utilizar para encapsular probióticos, mejorando la protección de las células encapsuladas. Por lo tanto, se utiliza preferentemente la fase acuosa dispersa (emulsión W/O o W/O/W), debido al carácter hidrofílico de las células bacterianas.

Técnica de secado por aspersión (*Spray drying*): La técnica de secado por aspersión presenta un bajo costo, rápido procesamiento y alta productividad. En general, esta técnica consiste en la atomización de una solución que contiene el agente encapsulado en un gas a alta temperatura, formando instantáneamente un polvo (Karrar et al., 2021). Para encapsular células bacterianas mediante la técnica de secado por aspersión, se pueden utilizar diversos polímeros naturales, especialmente goma arábiga y almidones, debido a su reconocida capacidad para formar partículas esféricas después del proceso de secado. Sin embargo, también se han utilizado otros materiales, como la inulina, los fructooligosacáridos, los alginatos, las gomas y los mucílagos (Ji et al., 2023).

Técnica de secado por enfriamiento (*Spray chilling*): Este proceso es análogo al secado por aspersión, debido a la producción de pequeñas gotas. Sin embargo, en esta técnica el agente encapsulado se dispersa en una matriz fundida, formada por lípidos, que se atomiza en una cámara donde se inyecta aire frío, lo que permite la solidificación de las partículas (Figueiredo et al., 2022b).

Técnica de liofilización: La liofilización ha sido probada durante décadas como un método para la conservación, el transporte y el almacenamiento a largo plazo de microorganismos. Una vez que el producto está listo para la liofilización, el proceso consta principalmente de tres pasos: congelación, secado primario (sublimación) y secado secundario (desorción) para obtener el producto final seco con el contenido de humedad deseado. (da Costa Neto et al., 2019; Li et al., 2019a).

La selección del material apropiado para el encapsulado de las células microbianas es esencial para la estabilidad y las propiedades de las partículas producidas. El agente encapsulante no

debe presentar toxicidad al microorganismo de interés, ya que puede influir directamente en la viabilidad del microorganismo, además de alterar la morfología, diámetro y permeabilidad de las micropartículas a generar. Un adecuado material encapsulante permite la liberación del microorganismo encapsulado de manera específica y de igual manera permite la liberación controlada al interior del sistema gástrico (Iqbal et al., 2021; Lok Yee et al., n.d.), lo que genera la posterior colonización del microorganismo deseado (Olivares et al., 2019). La **Tabla 7** de la presente revisión se focalizó en abordar las técnicas de microencapsulación que actualmente están siendo empleadas para generar alimentos funcionales poco convencionales tales como embutidos, jugos, helados, cerveza, entre otros (Arepally et al., 2022; Bilenler et al., 2017; Calabuig-Jiménez et al., 2019a; Farias et al., 2019; Haffner & Pasc, 2018; Muzzafar & Sharma, 2018; Olivares et al., 2019; Praepanitchai et al., 2019). Además, se analizaron los materiales encapsulantes más prometedores según la técnica de encapsulación empleada y las ventajas y desventajas descritas, en donde se evidenció que por temas de facilidad, practicidad y costos la técnica de microencapsulación más empleada es la técnica por extrusión, la cual utiliza como material encapsulante el alginato en combinación con diversos biomateriales, lo cual permite que esta técnica genere mayor viabilidad de los microorganismos de interés en las diferentes matrices analizadas.

Tabla 7. Avances en las técnicas de microencapsulación en diversas matrices alimentarias

Matriz alimentaria	Técnica de encapsulación	Ventajas reportadas	Desventajas reportadas	Referencia
Jugos de fruta	Técnica de coacervación compleja, seguida de entrecruzamiento con transglutaminasas	Metodología adecuada para adicionar probióticos a matrices alimentarias adversas, en donde evidenciaron la supervivencia de <i>L. acidophilus</i> hasta por 63 días	Metodología pionera que requiere estudios complementarios para validar parámetros microbiológicos y sensoriales en las matrices	(Marques da Silva et al., 2021)
Queso de cabra	Técnica de extrusión	Aumento del número de compuestos aromáticos en queso sin alteración sensorial	Se deben emplear varios materiales encapsulantes para asegurar viabilidad en las microcápsulas	(Kavas et al., 2021)
Salami	Técnica de extrusión	Se utilizó Acrycoat S100, el cual puede considerarse un nuevo material encapsulante con aplicaciones potenciales en matrices alimentarias complejas.	Acrycoat S100 tiene una liberación controlada dependiente del pH, razón por la cual no será	(Machado Vasconcelos et al., 2021)

			compatible con todas las matrices alimentarias.	
Yogurt concentrado sin lactosa	Secado por aspersión	Se pueden emplear como materiales encapsulantes leche sin lactosa, leche sin lactosa e inulina, y leche sin lactosa y Oligofructosa como materiales que permiten una adecuada viabilidad	La gomosidad de los productos mostró valores fluctuantes	(Dantas et al., 2021)
Queso ricotta de cabra	Técnica de gelificación iónica externa	Se demostró en el producto una mejora tecnológica, con generación de volátiles	El recubrimiento de quitosano no mejoró los efectos de la microencapsulación	(López et al., 2021)
Kéfir	Nano encapsulación mediante nanofibras de alginato electrohilado	Este método ha reportado algunos beneficios como una mayor eficacia de inmovilización y mejora la liberación controlada de los probióticos.	Es difícil electrohilar directamente el alginato puro debido a su alta conductividad eléctrica.	(Yilmaz et al., 2020)
Jugo Doogh	Técnica de extrusión combinada con el método de doble recubrimiento	La encapsulación con alginato de calcio y posterior doble	Se requiere el uso de varios materiales encapsulantes	(Pourjafar et al., 2020)

		recubrimiento con quitosano	seguido de equipamiento	
		permite aumentar la viabilidad de los probióticos	especifico según la metodología a aplicar	
Leches de soja y arroz	Técnica de gelificación iónica externa	El uso de quitosano genera micropartículas más estables y aumenta la supervivencia de los probióticos	Se requiere del uso de otro material encapsulante a parte del alginato	(Angélica Andrade López et al., 2020b)
Jugo de naranja	Técnica de extrusión	Se demostró que el polímero de alginato, goma Persia e inulina tiene potencial como material encapsulante	Es necesario el uso de gomas extraídas de hierbas como material a mezclar para la obtención de los polímeros	(Nami et al., 2020a)
Jugo de Sohiong	Secado por aspersión	Cambios en el valor del color, densidad, porosidad y contenido de humedad en rangos aceptables	El polvo obtenido era amorfo durante todo el proceso de almacenamiento	(Vivek et al., 2020)
Leche fermentada	Técnica de extrusión	El alginato tiene un gran potencial encapsulante en productos lácteos	Las células encapsuladas aumentaron la concentración de	(Dimitrellou et al., 2019a)

			compuestos particulares	volátiles	
Helado de mombina amarilla	Técnica de extrusión por jeringa	Las microcápsulas generadas reducen la pérdida de células en almacenamiento congelado	El proceso de encapsulación es ventajoso para todas las especies de probióticos		(Farias et al., 2019)
Yogur estilo griego sin lactosa	Técnica de extrusión	Las microcápsulas elaboradas con goma arábica e inulina mostraron las mejores propiedades físicas	El uso de maltodextrina como encapsulante no demostró adecuadas condiciones físicas		(Pinto et al., 2019)
Jugo de mandarina	Técnica de Homogeneización a alta presión (HPH)	Se obtienen mejoras en las propiedades funcionales de las bacterias probióticas	Es necesario el uso de equipamiento específico para poder ejecutar el protocolo de encapsulación		(Calabuig-Jiménez et al., 2019b)
Leche fermentada	Técnica de extrusión	La aplicación de células probióticas encapsuladas mediante esta técnica es un proceso sostenible	las células encapsuladas aumentaron la concentración de		(Dimitrellou et al., 2019b)

		para la producción de leche fermentada	compuestos volátiles en las leches	
Leche de vaca	Técnica de extrusión	Se aumenta la viabilidad y el rendimiento de las bacterias encapsuladas empleando leche de cabra como material encapsulante	Es necesario el uso de otros materiales encapsulantes como coadyuvantes del alginato	(Prasanna & Charalampopoulos, 2018)
Leche de cabra				
Jugo de lichi	Secado por aspersión	Se demostró que, al utilizar maltodextrina en conjunto con fructooligosacárido, se obtuvo buen rendimiento y mayor capacidad de supervivencia.	La viabilidad de los Probióticos a encapsular se ve afectada por las temperaturas de entrada y salida utilizadas por el equipo	(Kalita et al., 2018)
Agua de coco verde	técnicas de gelificación externa y gelificación interna	Las perlas generadas pueden ayudar a obtener un lapso significativo antes de la liberación de los probióticos en las diversas matrices alimentarias	Se requiere del uso de materiales muy específicos y metodologías de apoyo para generar las microcápsulas	(Basu et al., 2018)
Jugo de manzana y cerveza	Técnica de liofilización	Es más eficiente utilizar perlas de alginato-sílice que perlas de	Se hace necesario el uso de equipos y material	(Haffner & Pasc, 2018)

		alginato solas para obtener una mejor viabilidad y liberación	especializado para realizar la técnica en cuestión	
Yogurt endulzado	Técnica de extrusión	El aumento del de alginato aumentó la tasa de supervivencia de las bacterias encapsuladas	La presión del aire disminuyó el tamaño de las microcápsulas generadas	(Seth et al., 2017b)

2.1 Co-Encapsulación de compuestos bioactivos

Es notable el incremento de la población que padece enfermedades crónicas, tales como la hipertensión, la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, y entre otras enfermedades que se encuentran altamente relacionadas con los hábitos de vida y la alimentación diaria (Jardim et al., 2021). Se han realizado diversos estudios enfocados al uso de alimentos funcionales enriquecidos con compuestos bioactivos y suplementos dietarios como medida de prevención de enfermedades crónicas y como una posible solución para aliviar estas enfermedades (Castro et al., 2019; Mapelli-Brahm & Meléndez-Martínez, 2021). Los componentes bioactivos comúnmente utilizados incluyen a los carotenoides, vitaminas, polifenoles, flavonoides, probióticos, aceites esenciales y minerales (Lu et al., 2022). Estos componentes pueden ser incorporados en determinadas matrices alimentarias sistemas alimentarios con el fin de mejorar sus características nutricionales y el beneficio que pueden aportar a la salud de los consumidores. Sin embargo, algunos compuestos bioactivos no pueden ser absorbidos y utilizados completamente por el cuerpo (Luiza Koop et al., 2022a), relacionan que algunos polifenoles, como las antocianinas, los carotenoides y las betalaínas, son compuestos lábiles y pueden degradarse debido a factores ambientales (pH, oxígeno, temperatura y luz) durante el procesamiento, el almacenamiento y la digestión gastrointestinal (Luiza Koop et al., 2022). Esto apoyado en lo descrito por McClements et al., (2010) en donde describen que un gran número de estos compuestos son insolubles en agua y son sensibles a condiciones de estrés (McClements & Li, 2010).

Adicional a lo anterior, en los procesos logísticos de distribución (almacenamiento, transporte y manipulación de alimentos), algunos de los compuestos bioactivos tienden a degradarse con facilidad al momento de ser expuestos a la luz solar. Además, factores como la presencia de oxígeno y el incremento de la temperatura de almacenamiento promueven la degradación de estos compuestos (Delfanian & Sahari, 2020).

Después de que el compuesto bioactivo pasa por el tracto gastrointestinal humano, su bioactividad también podría verse muy reducida debido a la presencia de enzimas, ácidos gástricos y sales biliares (Fatmi et al., 2022). Para superar estas deficiencias, en los últimos años se han utilizado algunas matrices alimentarias para encapsular ingredientes bioactivos para mejorar su estabilidad, bioactividad y biodisponibilidad, tales matrices utilizadas son yogurt y jugos de fruta. Además, se ha informado que los sistemas de administración basados en proteínas o polisacáridos no solo podrían enmascarar la astringencia de los compuestos bioactivos como los polifenoles (Yan et al., 2009), además de mejorar su estabilidad y bioactividad mediante la encapsulación eficiente, permitiendo la protección y liberación controlada (C. Li et al., 2019). Actualmente, un número cada vez mayor de investigaciones se centran en el desarrollo de sistemas de administración que incluyen emulsiones, nanopartículas, microcápsulas, liposomas e hidrogel.

2.2 Materiales encapsulantes

Partiendo de los múltiples efectos benéficos de los probióticos surge la necesidad de identificar aquellas especies microbiana que tengan la capacidad de producir metabolitos que inhiban la adhesión y prevalencia de microorganismos patógenos (Alizadeh Behbahani et al., 2019), modificando directamente la composición de la microbiota intestinal (Bamola et al., 2022b), la producción de compuestos con actividad anticancerígena (Legesse Bedada et al., 2020), como los ácidos grasos de cadena corta, la degradación de toxinas y sus respectivos receptores y la modulación de las respuestas inmunes (Shoukat, 2020). Ante ello en nutrición humana, los principales tipos de bacterias probióticas utilizadas son *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus* y *Bacillus*. Sin embargo, también se estudian algunas especies de levaduras del género *Saccharomyces* (Rodrigues et al., 2020).

La Tabla 8 de esta revisión de tema muestra la comparación de las especies más empleadas como probióticos y los materiales encapsulantes de mayor elección en los diferentes procesos de microencapsulación. Como resultado se resalta el uso de bacterias del género *Lactobacillus*, en donde prevalece la elección de las especies *L. casei*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus* y *L. acidophilus*.

Cabe resaltar que los materiales encapsulantes más utilizados en función a los microorganismos mencionados con anterioridad son el alginato, la inulina y la pectina. En donde múltiples estudios relacionan su estabilidad en diversos sistemas gástricos simulados y su utilidad en la incorporación a diversas matrices alimentarias.

Tabla 8. Microorganismos, usos y materiales utilizados para la encapsulación de probióticos

Microorganismo	Material encapsulante	Tipo de encapsulación	Uso	Referencia
<i>Lactobacillus casei</i>	Proteína de sericina de seda Alginato Maltitol	Técnica de liofilización	Se evaluó la proteína de serina de seda como material de recubrimiento para mejorar la viabilidad de las células probióticas.	(Apiwattanasiri et al., 2022)
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> <i>Pediococcus pentosaceus</i>	Alginato de sodio Caseína de camello Gelatina de piel de camello	Técnica de liofilización	Verificación de la viabilidad de los probióticos sometidos a condiciones de simulación gástrica	(Devarajan et al., 2022)
<i>Lactobacillus paracasei</i> <i>Lactobacillus casei</i> <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Microgeles de Pectina	Método de gelificación ionotrópica	Validar la protección de dos cepas probióticas para la simulación de digestión gastrointestinal y condiciones de almacenamiento	(Tarifa et al., 2021)
<i>Lactobacillus casei</i>	Alginato Chitosan	Técnica de deposición electrostática capa por capa	Se evaluó la tasa de supervivencia y las propiedades funcionales de <i>L. casei</i> después del proceso de liofilización y durante el tránsito por el tracto gastrointestinal simulado	(Beldarrain-Iznaga et al., 2021)

<i>Lactobacillus plantarum</i>	Sorbitol Alginato de sodio Leche descremada Glicerol Crioprotector	Técnica de extrusión	Producción y caracterización de polvo de yogur liofilizado que contienen microcápsulas de <i>Lactobacillus plantarum</i> enriquecidas crioprotegidas	(Jouki et al., 2021)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Dextrano Proteína de suero	técnica de doble emulsión	Validar la viabilidad y supervivencia de los probióticos encapsulados bajo condiciones gástricas simuladas	(Pandey et al., 2021)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Perlas de alginato Perlas de alginato con hongo de bambo	Técnica de extrusión	El objetivo fue mejorar la supervivencia del probiótico después de la exposición a fluidos gastrointestinales	(Srisuk & Jirasatid, 2020)
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Aislado de proteína de suero de leche, Nano celulosa cristalina Inulina	Técnica de liofilización	Para determinar una formulación óptima que pueden mejorar la supervivencia de las bacterias probióticas contra las condiciones gastrointestinales	(Maleki et al., 2020)
<i>Lactococcus lactis</i>	Inulina Alginato Goma Persia	Técnica de extrusión	Evaluar la estabilidad, la tasa de supervivencia, la liberación de colonias y el pH/contenido de azúcar de células probióticas libres y micro encapsuladas en jugo de naranja.	(Nami et al., 2020b)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato Quitosano	Técnica de gelificación iónica externa	Se evaluaron las características fisicoquímicas y la supervivencia del cultivo probiótico en leches veganas durante el almacenamiento refrigerado y la digestión in vitro.	(Andrade López et al., 2020a)
<i>Bifidobacterium BB-12</i>	Leche sin lactosa Inulina	Secado por aspersión	Estudio realizado para verificar la supervivencia durante el almacenamiento y	(de Liz et al., 2020)

	Oligofruktosa		condiciones gastrointestinales in vitro	
<i>Lactobacillus casei</i>	Aislado de proteína de suero Goma Gellan Ftalato de acetato de celulosa	Técnica de liofilización	Midieron las propiedades físicas y químicas de las microcápsulas y la viabilidad de las células probióticas en fluidos gastrointestinales simulados	(K. Li et al., 2019b)
<i>Lactobacillus salivarius</i>	Alginato	Homogeneización a altas presiones (HPH)	Validación de la supervivencia del microorganismo incorporado en jugo de mandarina	(Calabuig-Jiménez et al., 2019a)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Calcio-Alginato Proteína de soya	Método de gelificación descrito por Bhopatkar et al.	Se prepararon perlas de hidrogel y se evaluaron para mejorar la supervivencia de los probióticos encapsulados para incorporarlos a jugo de mango	(Praepanitchai et al., 2019)
<i>Lactococcus lactis subsp. lactis R7</i>	Suero de leche Inulina	Secado por extrusión	Para evaluar la capacidad de la microencapsulación para proteger contra condiciones adversas.	(Rosolen et al., 2019)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Gelatina Goma arábica	Emulsificación seguida de coacervación compleja	Evaluar su comportamiento en condiciones gastrointestinales in vitro simuladas y evaluar la supervivencia de células probióticas microencapsuladas durante 45 días de almacenamiento	(Paula et al., 2019)
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Alginato de sodio Lecitina Almidón Nanocrystal de celulosa	Técnica de liofilización	Evaluación de la viabilidad y supervivencia ante condiciones gástricas simuladas y el almacenamiento	(Huq et al., 2017)

<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>Boulardii</i>	Gelatina Concentrado de proteína de suero Almidón modificado Maltodextrina Aislado de proteína de guisante	Técnica de liofilización	Evaluar viabilidad y supervivencia en condiciones controladas	(Arslan et al., 2015)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Goma arábica Goma xantana Quitano	Técnica de extrusión	Estudio enfocado a la revisión de las condiciones óptimas de encapsulación	(Chen et al., 2015)
<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Bifidobacterium BB-12</i>	Alginato	Técnica de extrusión	Se evaluaron los parámetros de encapsulación y la eficacia.	(Yari et al., 2015)

Según lo anteriormente expuesto por la Tabla 8, la selección del material apropiado para el encapsulado de las células microbianas es esencial para la estabilidad y las propiedades de las partículas producidas. El agente encapsulante no debe presentar toxicidad, ya que puede influir directamente en la morfología, diámetro y permeabilidad de las partículas. Además, debe proteger a las células microbianas frente a factores ambientales y ser suficientemente satisfactoria en la liberación controlada. Por tanto, el uso de materiales con capacidad de retención de humedad mejora la supervivencia de las células encapsuladas. Además, los materiales que liberan por completo las células encapsuladas cuando se suspenden en los jugos gástricos pueden no ser adecuados para proteger las células durante el paso por el tracto gastrointestinal (Sun, Wang, et al., 2023). Actualmente, en los procesos de microencapsulación se han empleado diferentes materiales clasificados como polisacáridos, proteínas y lípidos (Vivek et al., 2023a). La Tabla 9 recopila los principales componentes utilizados en las diversas técnicas de encapsulación microbiana, realizando un comparativo de cada uno de estos, detallando ventajas reportadas y principales limitaciones de su uso. Dentro de las limitantes de algunos de los materiales se observan particularidades como baja estabilidad, poca resistencia a procesos térmicos y formación de poros con gran diámetro, lo cual sumado a los factores intrínsecos de las metodologías de encapsulación generan una pérdida significativa de las células microbianas a encapsular. Aunque el alginato es el material más utilizado debido a su adecuado efecto protector, se ha observado un creciente interés en la búsqueda de biomateriales como alternativa de sustitución total o parcial de este polisacárido por otros polisacáridos obtenidos de diversas fuentes que pueden cambiar las propiedades de las partículas, mejorando la protección y supervivencia de las células encapsuladas bajo condiciones de almacenamiento.

Tabla 9. Comparación de materiales empleados en los procesos de microencapsulación

Material encapsulante	Ventajas reportadas	Desventajas reportadas	Referencia
Almidón	El almidón y sus derivados pueden lograr la liberación controlada de nutraceuticos. Los bioactivos pueden formar complejos de inclusión con amilosa o ciclodextrina, lo que los protege del duro entorno digestivo externo.	Se reporta mala solubilidad en agua, inestabilidad térmica y baja inaccesibilidad de los nutraceuticos en el sistema de administración.	(Sun, Wei, et al., 2023)
Alginato	La gelificación derivada de iones es una de las funciones funcionales más importantes del alginato, además de la liberación lenta de microorganismos atrapados en el suelo, la naturaleza no tóxica, la biodegradabilidad, el bajo costo y la resistencia a la ambientes ácidos.	Posee estabilidad débil, baja barrera, inconsistencia con metales pesados e inestabilidad hacia el tratamiento térmico.	(Nezamdoost-Sani et al., 2023a)
Aislado de proteína de soja	Tiene buena estabilidad de emulsificación y buenas propiedades espumantes, formadoras de películas y gelificantes, lo que lo convierte en un portador adecuado para la entrega de sustancias bioactivas.	La adición de aislado proteína de soya en conjunto con otros biomateriales derivados de frutas reduce la fortalece de los geles a formar, lo que da como resultados estructuras porosas y menos reticuladas.	(Y. Liu et al., 2023)
Quitosano	Es considerado seguro y biocompatible por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU. Es soluble en condiciones de pH ácido.	Este material presenta poca solubilidad en agua y baja eficiencia de transfección.	(Meyer-Déru et al., 2022)
Aislado de proteína de suero	Tiene excelentes propiedades de gelificación y es biocompatible con los probióticos, además de ser anfifílica.	La estructura de la proteína no es suficiente para construir excelentes bio-recubrimientos, sino que requiere modificaciones físicas, químicas y biológicas. Además, estas proteínas tienen el potencial de causar	(Sogut et al., 2022)

		reacciones alérgicas en algunas poblaciones.	
Carragenina	Puede mejorar la tasa de retención de los ingredientes bioactivos, mejorar la eficiencia de carga y aumentar la cantidad de liberación. Además, la carragenina tiene un efecto protector sobre otras sustancias en el sistema de entrega al reducir la sensibilidad de otras sustancias a las enzimas.	Los tamaños de las partículas generadas a partir de este material pueden ser relativamente grandes, Además que su uso en productos puede alterar la apariencia y sabor.	(Dong et al., 2021)
Goma gellan	Es resistente al calor y estable a pH ácido, además de no ser tóxica y biocompatible, puede establecer enlaces iónicos con polímeros cargados positivamente.	Puede impartir un sabor amargo, es hidrofílica por lo que absorbe mucha agua causando cambios de textura y consistencia de las partículas.	(K. Li et al., 2019c)
Pectina	Tiene atributos mucoadhesivos además de ser resistente a las enzimas estomacales o intestinales, como la proteasa y la amilasa.	La presencia de numerosos hidroxilo, carboxilo, carbometoxi y los grupos funcionales acilamino hacen que la pectina presente problemas de hidratación, hinchazón y erosión.	(Dafe et al., 2017)

2.3 Microencapsulación y factores fisicoquímicos

Debido al creciente interés en la generación de alimentos funcionales, el uso de las diversas tecnologías de microencapsulación demuestran ser procesos adecuados para brindar protección a los probióticos, esto con el fin de garantizar su estabilidad y viabilidad sin cambios los atributos inherentes de las cepas de interés (Yoha et al., 2022). La encapsulación de probióticos ofrece protección a través de materiales encapsulados que estabilizan las células microbianas durante el procesamiento, el almacenamiento y en el sitio de acción al mejorar la resistencia al estrés (Douillard & de Vos, 2019). Muchos estudios *in vitro* e *in vivo* han corroborado la eficacia, seguridad y tolerabilidad de los probióticos encapsulados (Ayyanna et al., 2018; Nambiar et al., 2018; J. Wang et al., 2018). Además de esto beneficios, existen problemas relacionados con los métodos actuales de microencapsulación. Uno de los principales problemas es que las microcápsulas se disuelven fácilmente en el jugo gástrico y exponen las bacterias probióticas directamente al ácido gástrico y las sales biliares que pueden reducir su viabilidad. Para resolver este problema, se ha utilizado el proceso de recubrimiento o la adición de material de pared resistente a los ácidos para monitorear la emisión de microcápsulas probióticas al sistema digestivo (Huang et al., 2021). Ante esto, se evidencian requerimientos específicos por parte de las diversas metodologías de encapsulación, tales como los parámetros de pH, conductividad, temperatura, humedad, entre otros, para el desarrollo de micropartículas que se adapten a las necesidades de las matrices de interés.

La Tabla 10 recopila algunos parámetros fisicoquímicos de relevancia según la técnica de microencapsulación empleada para generar resultados de interés enfocados a la obtención de microencapsulados de organismos probióticos incorporados a matrices alimentarias.

Tabla 10. Factores fisicoquímicos de influencia en los procesos de microencapsulación

Técnica de encapsulación	Microorganismo encapsulado	Parámetro fisicoquímico	Particularidad (Hallazgo)	Referencia
Secado por aspersión	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Temperatura Humedad	Se utilizó suero en polvo y goma arábiga para mejorar el caudal de líquido y se utilizó temperatura de 140 °C en el aire de entrada.	(Leylak et al., 2021)
Secado por aspersión	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> <i>Lactobacillus casei</i> <i>Lactobacillus plantarum</i>	Difusividad de la humedad	El uso de maltodextrinas con bajo equivalente de dextrosa genera mejores microcápsulas.	(Souza et al., 2021)
Secado por aspersión	<i>Lactobacillus reuteri</i>	Viscosidad baja	El uso de alginato de sodio con goma, ferula y asafoetida (FAFG) mejora la viscosidad	(Karimi et al., 2021)
Técnica de extrusión	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Solubilidad y viscosidad	El uso de alginato de sodio y mucilago permitió obtener una solución baja en viscosidad, con adecuada solubilidad.	(Dokoohaki et al., 2019)
Secado en lecho de chorro	<i>Lactobacillus casei</i>	Temperatura Humedad	Proceso realizado a 60°C, empleando maltodextrina como agente de secado.	(Dokoohaki et al., 2019)
Método de Procesamiento electro hidrodinámico	<i>Weissella sp.</i>	Propiedades físicas del fluido	Se necesita un suministro constante de líquido con un caudal igual al del líquido expulsado.	(Fhoula et al., 2018)
Secado por aspersión	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Viscosidad baja	Se obtiene solución con baja viscosidad a partir de maltodextrina y goma de moringa.	(Nambiar et al., 2018)

Secado por aspersión	<i>Bifidobacterium animalis ssp. lactis BB12</i>	Contenido de humedad	El uso de alginato demostró mejora en la humedad.	(Dias et al., 2018)
Método de emulsión	<i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Staphylococcus xylosum</i>			(Bilenler et al., 2017)
Emulsificación/gelificación interna	<i>Bifidobacterium BB-12</i>	Densidad de soluciones	Mientras se agita la solución agua-aceite de añade continuamente aceite de colza con ácido acético glacial.	(Holkem et al., 2016)

CAPITULO 3. EXPLORACIÓN BIBLIOMÉTRICA

El algoritmo de búsqueda creado evidencio 1652 documentos registrados, los cuales se encuentran distribuidos en su gran mayoría por 1471 artículos científicos, 162 revisiones de tema y tres capítulos de libro. La presente exploración bibliométrica se divide en dos partes, donde se presentarán los análisis de frecuencias y los análisis de interacciones o redes.

3.1 Análisis de frecuencias

La figura 4 detalla la producción científica anual enfocada en la temática de la microencapsulación de probióticos en matrices alimentarias, en donde en el año 2000 se contaban con cuatro artículos, cabe resaltar que la tendencia va enfocada al aumento de las publicaciones, esto debido al creciente interés por los temas asociados a los probióticos y la manera en la cual estos pueden modular la microbiota para la obtención de benéficos en los consumidores.

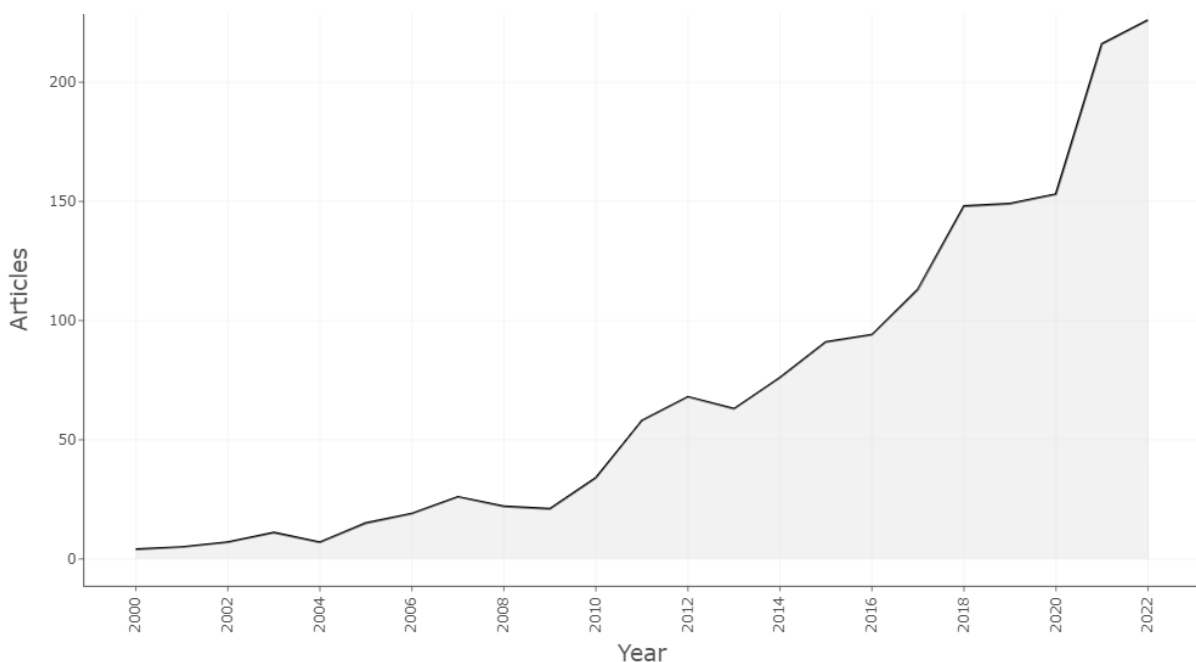


Figura 4. Producción científica anual asociada a la microencapsulación de probióticos en matrices alimentarias.

La Figura 5 presenta la productividad de los diez autores que mayor relevancia ocupan en la temática de estudio, en la ventana de tiempo que comprende los años 2000 al 2022. Se resalta el movimiento que han presentado de Menezes con doce publicaciones y Favaro-trindade con 18 publicaciones. Es importante tener en cuenta que, si bien algunos autores como Champagne no figuran dentro del top tres de autores con mayor productividad en el último tiempo, son precursores del tema y se han mantenido en la producción de conocimiento en torno a la microencapsulación probiótica. A raíz de la presente revisión bibliométrica se denota el aumento en la investigación con foco en la temática de interés, donde la tendencia de las publicaciones va al aumento por año. Es interesante detallar que los países que más investigan en la temática de estudio son China, Brasil e Irán. Hecho que está en correlación con el top 10 de autores más publicados en el tópic de interés.

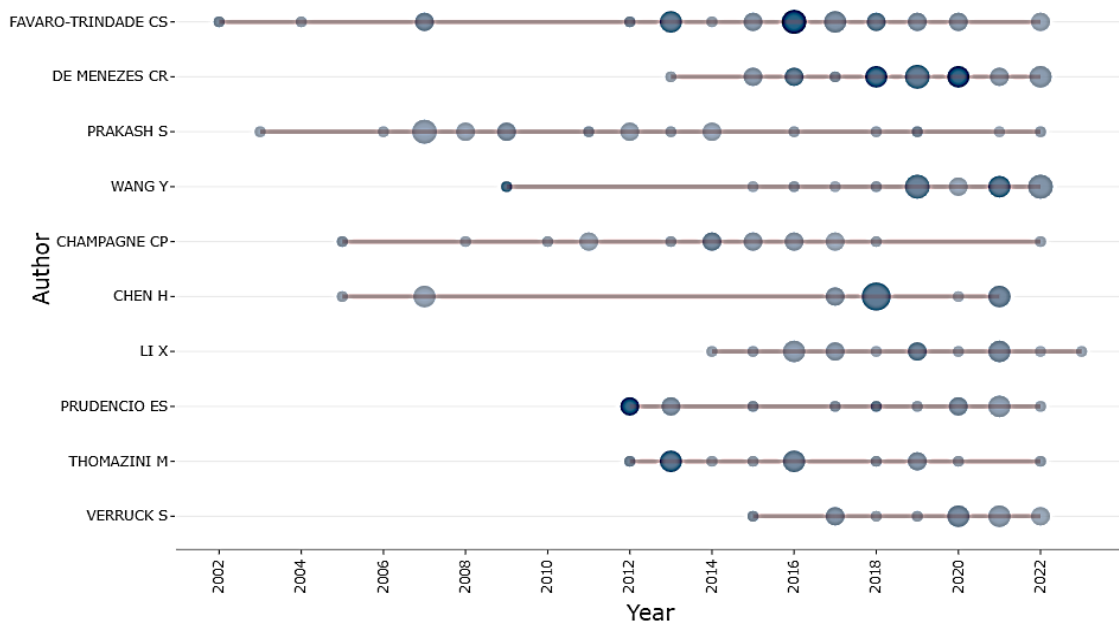


Figura 5. Nivel de productividad por autores en función a los últimos 20 años de publicación en temas relacionados a microencapsulación de probiótico.

En concordancia con la figura anterior, la figura 6 nos presenta el volumen de publicaciones realizado por parte de las instituciones afiliadas a lo largo del tiempo, donde 3 de las 5 instituciones son de origen brasileño, hecho que esta soportado por la figura 4, donde podemos ver que varios autores destacados son de origen brasileño, demostrando así que este país es líder en la temática de interés.

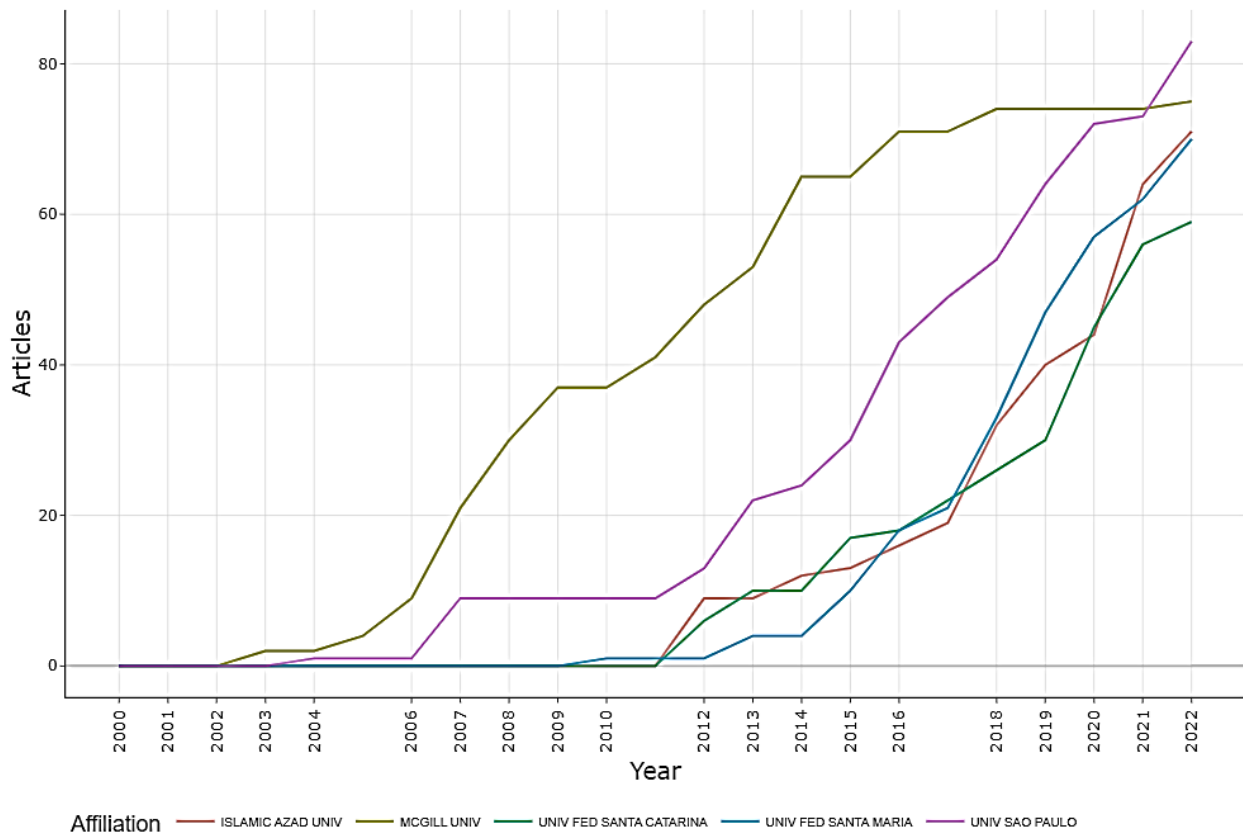


Figura 6. Producción de artículos por instituciones de educación superior desde el 2000 al 2022.

3.2 Análisis de interacciones

El análisis de las publicaciones realizadas por los países desde el año 2000 hasta el año 2022 (Figura 7), evidencia que 49 países han aportado con sus investigaciones al estudio de la temática de interés. Se pueden detallar 7 clústeres, entre los cuales, el más representativo es encabezado por china con 247 publicaciones, el cual está integrado por otros países como Corea del sur, Japón, Bangladesh e Irlanda. Otro clúster de relevancia se encuentra liderado por Brasil, que cuenta con 197 publicaciones y además se integra por Rumania, Alemania y Suecia.

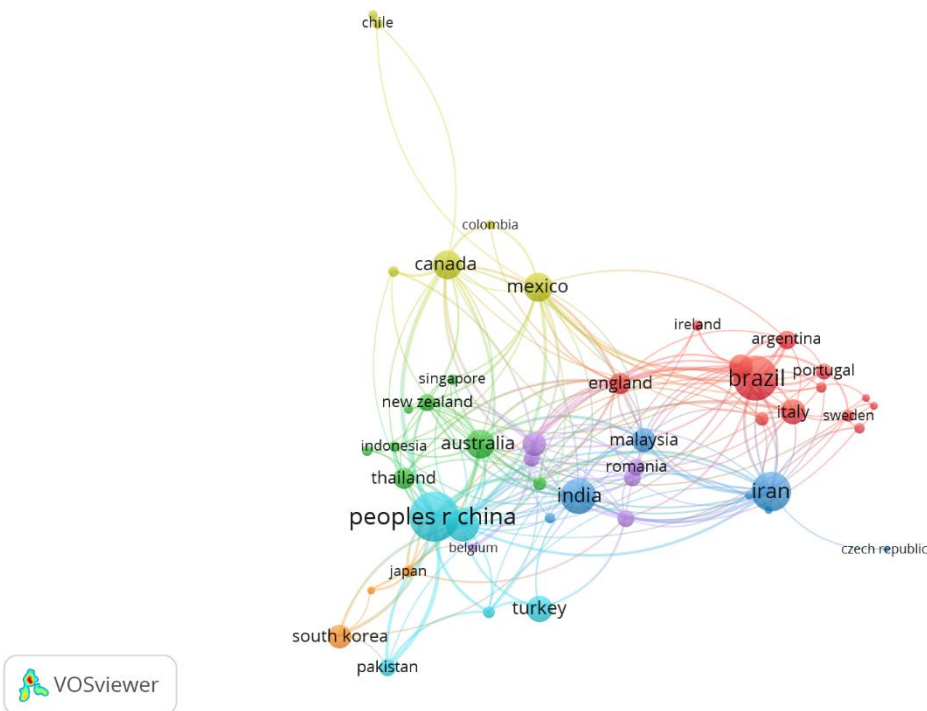


Figura 7. Co-autorías entre países agrupados en clústeres de trabajo según su nivel de productividad en temas de microencapsulación de probióticos

En concordancia con la gráfica anterior, la Figura 8 muestra las interacciones a nivel mundial de los diferentes países que realizan publicaciones en la temática de interés, en donde se evidencia una participación de 74 países. cabe resaltar que dentro del top tres de países con mayor número de publicaciones se encuentran china, Brasil e Irán.

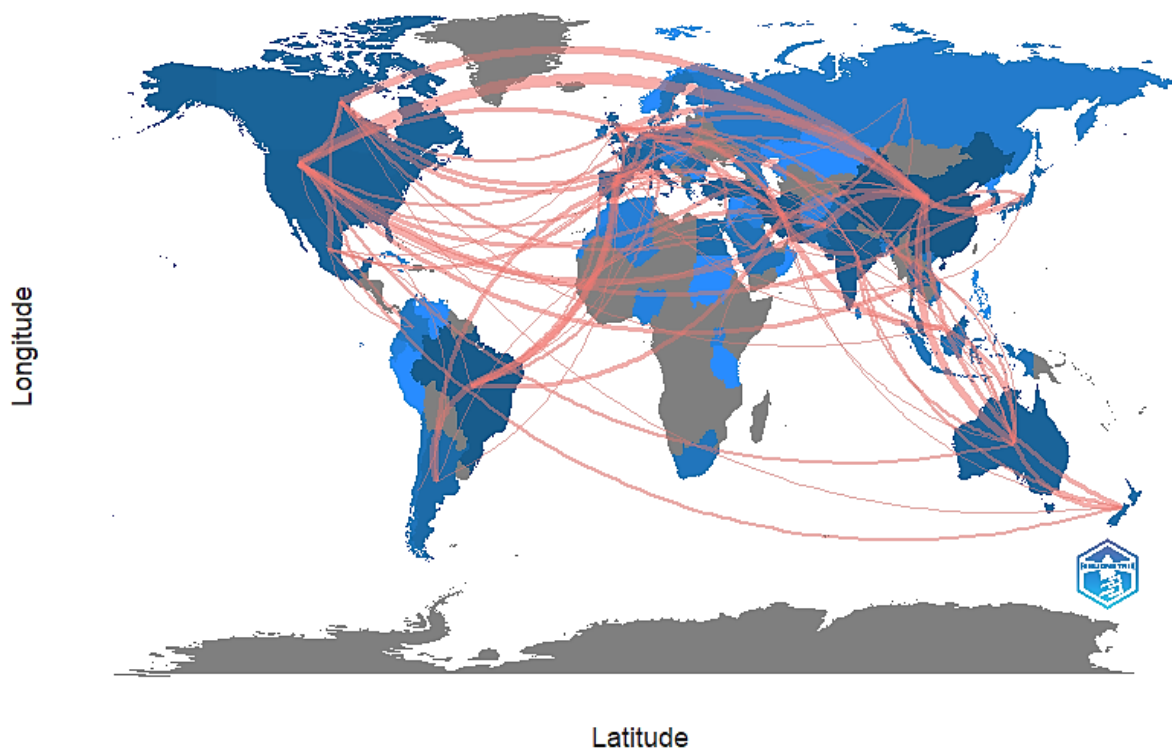


Figura 8. Relación entre países según las interacciones de sus grupos de trabajo y la cantidad de publicaciones realizadas en microencapsulación de probióticos

La Figura 9 indica que las publicaciones científicas en la ventana de tiempo estudiada involucran 5928 autores. Se visualizan 4 clústeres, el primero de ellos encabezado por de Menezes, el cual aporta 23 publicaciones en la temática de interés y que además ha trabajado con autores como Cichoski AJ, López, Da silva y Zepka. Estos autores investigan en torno a la aplicación de tecnologías de microencapsulación en la alimentación y la gran mayoría han empleado como cepa de interés a *Lactobacillus acidophilus* en sus estudios. Por otra parte, Raddatz GC, tercera autora con mayor número de publicaciones encabeza el segundo clúster e interactúa con Ferreira grosso, Holkem AT y Jacob LE. Estos autores han trabajado con microencapsulación de componentes bioactivos empleando principalmente el almidón y la pectina como materiales encapsulantes. El tercer clúster de relevancia se encuentra liderado por Favaro-Trindade, segunda autora con mayor número de publicaciones, la cual se relaciona con Silva M, Thomazini M, y Tulini FL. Estos autores emplean la coacervación compleja y el spray-chilling como metodologías en microencapsulación en sus estudios. El cuarto clúster de interés se encuentra liderado por Morales Flores, el cual aporta 7 publicaciones en la temática de interés e interactúan con el autor Muller. Estos autores han colaborado en estudios enfocados en los métodos de separación de materiales.

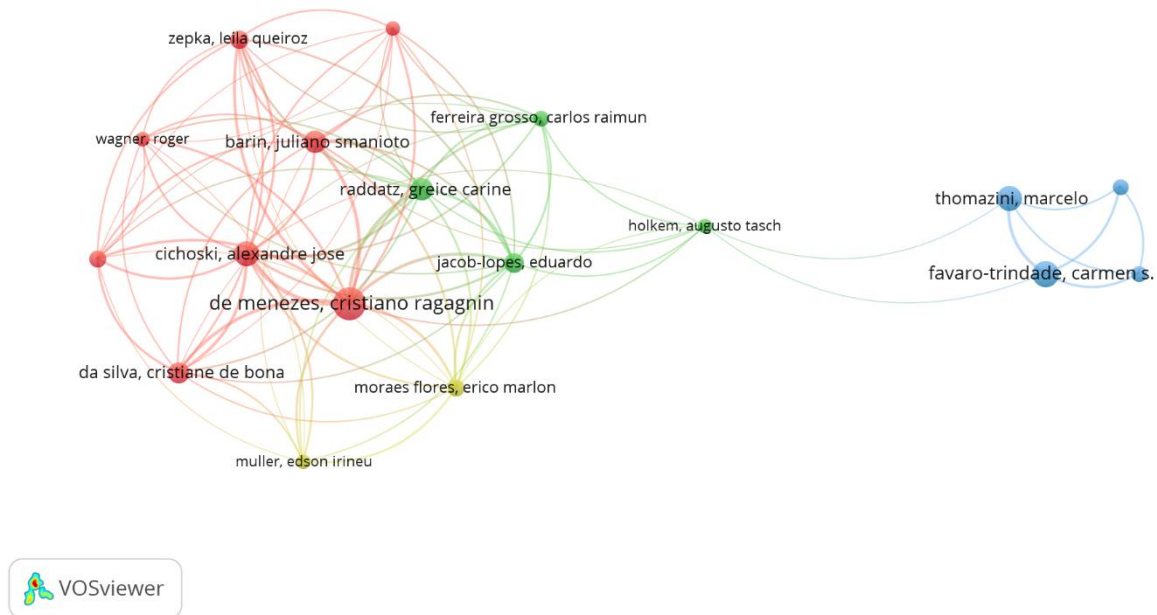


Figura 9. Co-autorías de autores y sus nodos de trabajo agrupados por el nivel de publicación en microencapsulación de probióticos

La Figura 10 detalla la citación de fuentes con 5 clústeres, entre los que se resalta el integrado por la revista *Lwt-food science and technology*, a la que se asocian 150 artículos. Esta es una revista internacional que publica artículos innovadores en los campos de la química de los alimentos, la bioquímica y la microbiología. La revista mencionada presenta interacción con *Food research internacional*, segunda revista con mayor número de publicaciones y enfocada en temas emergentes de la investigación alimentaria. Otro clúster de interés se encuentra encabezado por *Food hydrocolloids*, que coopera con las revistas *Food chemistry*, *Journal of the science of food*, *Applied microbiology and biote*, entre otras.

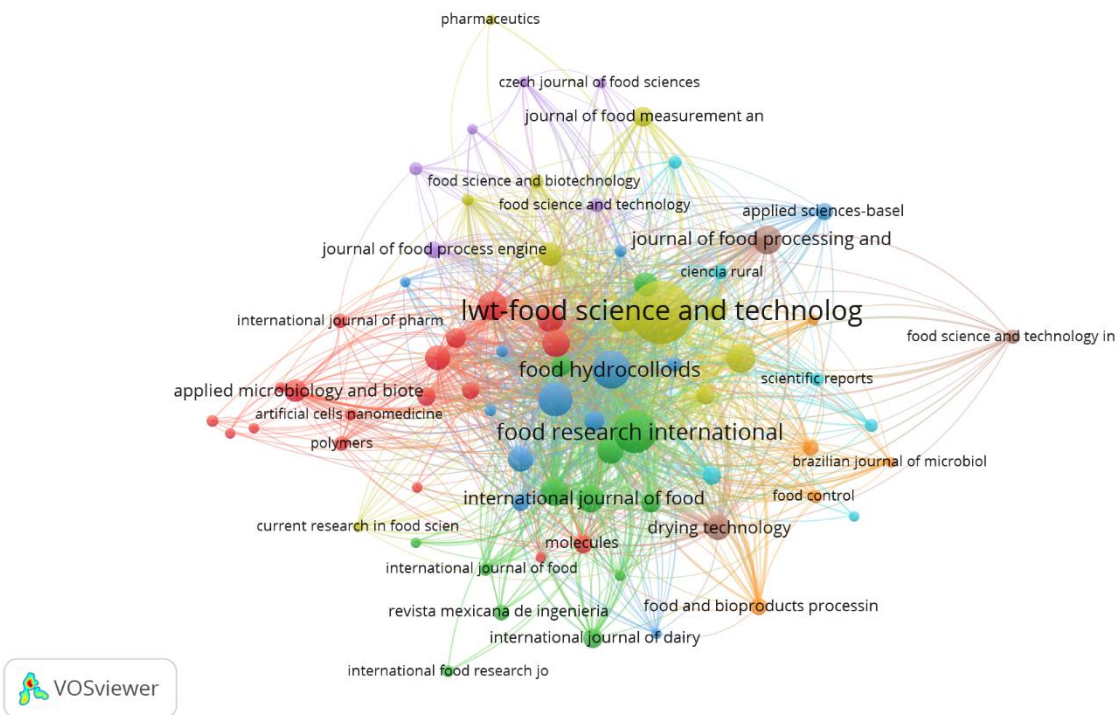


Figura 10. Diagrama de redes de la correlación entre las citas y la revista científica con mayor relevancia en microencapsulación de probióticos

La figura 11 corresponde a la citación por organizaciones, con 1463 instituciones asociadas a la búsqueda en cuestión, para la cual se evidencian 9 clústeres, en donde el clúster con mayor relevancia resalta a la Universidad de Sao Paulo, que cuenta con 39 publicaciones, y la Universidad Estatal de Campinas, con 31 publicaciones. Cabe resaltar que dichas organizaciones son de origen brasileño, aspecto coherente con la información suministrada en la figura 1, donde Brasil es el segundo país con mayor aporte en la temática de interés. También se denota el clúster liderado por la Universidad Islámica de Azad que aporta 35 publicaciones, siendo la segunda entidad con mayor número de documentos y que además trabaja en conjunto con instituciones como la Universidad de Mashhad y la Universidad de Queensland.

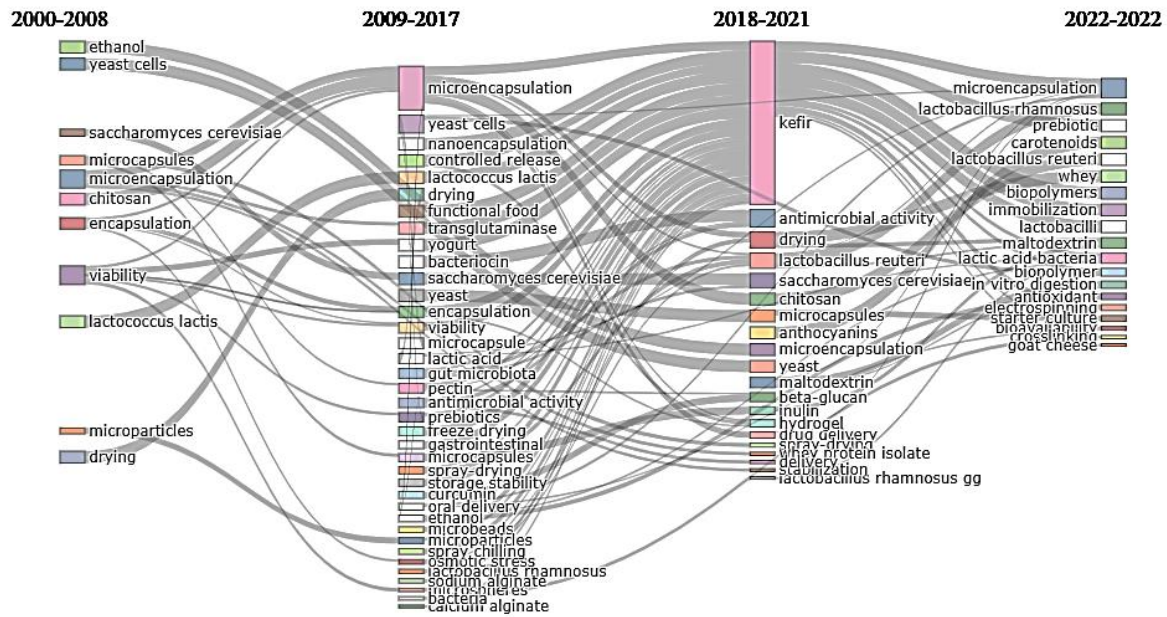


Figura 12. Evolución temática de palabras clave relacionados a la microencapsulación de probióticos en tres intervalos de tiempo

5. DISCUSIÓN

5.1 Resumen de la evidencia

La declaración PRISMA, no solo se limita a revisiones de ensayos clínicos y ciencias de la salud, sino que también permite ser utilizado en otros tipos de estudio, como en la tecnología de alimentos en donde la microencapsulación de microorganismos probióticos en matrices alimentarias posee gran relevancia (Hutton et al., 2016).

A continuación, en la Tabla 11 se presentan los principales hallazgos en base a los diferentes análisis propuestos. Posteriormente se incluyen las fortalezas de la evidencia para cada resultado presentado.

Tabla 11. Hallazgos principales del estudio

Análisis realizado	Resultado
Análisis comparativo de los materiales encapsulantes utilizados en los procesos de microencapsulación de probióticos.	Posterior al análisis de los diferentes artículos abordados, se evidencia el uso del alginato como el material encapsulante de predilección en los procesos de microencapsulación de probióticos.
Análisis comparativo de los microorganismos utilizados en los procesos de microencapsulación de probióticos.	El género microbiano más empleado en los procesos de microencapsulación de probióticos es <i>Lactobacillus sp.</i>
Avances metodológicos de los procesos de microencapsulación de microorganismos probióticos incorporados a diferentes matrices alimentarias.	Las metodologías para realizar microencapsulación más utilizadas son el método por extrusión y el método de secado por aspersión.

Fuente: Elaboración propia

El alginato es un biopolímero aniónico no ramificados que se extrae de las algas pardas y también se puede obtener de la bacteria *Pseudomonas*. El peso molecular del alginato suele estar en el rango de 32 kDa– 400 kDa, según la fuente, la especie y el método de extracción. Es soluble en agua e insoluble en disolventes orgánicos y actualmente es empleado como un sistema de

entrega para proteger a los probióticos contra el jugo gástrico ácido, debido a que cuando el alginato se disuelve, se forma un tubo pegajoso que se hincha 10 veces después de absorber agua (Bennacef et al., 2021).

Uno de los atributos funcionales más importantes del alginato es la gelificación. El alginato puede producir geles con cationes simples, divalentes y trivalentes como H^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} o Fe^{3+} . El mecanismo de ionización del alginato inducido por iones se basa principalmente en el entrecruzamiento entre iones y uronatos, que pueden mostrar varias opciones que los uronatos según el tipo de iones para formar el gel (Nezamdoost-Sani et al., 2023b). La gelificación derivada de iones es una de las propiedades más importantes del alginato. La formación de gel se produce a temperatura ambiente, y las células microbianas pueden propagarse fácilmente y ser atrapadas en los diminutos poros del alginato (Bennacef et al., 2021). Las ventajas de usar alginato en la formulación de metodologías de microencapsulación incluyen la liberación lenta de microorganismos atrapados, naturaleza no tóxica del material, biodegradabilidad, bajo costo y resistencia a ambientes ácidos (Ahmad Raus et al., 2021).

El género *Lactobacillus* es ampliamente utilizado dentro de formulaciones de Alimentos Funcionales, esto sustentado en los múltiples beneficios reportados, convirtiendo a este género microbiano como uno de los más estudiados (R. Huang et al., 2022b). La terapia con probióticos ha adquirido gran reconocimiento como terapia preventiva (Bernardeau et al., 2008), la aplicación de probióticos en el tratamiento de la diarrea asociada a antibióticos y en la reposición del microbioma intestinal infantil, después de la administración de antibióticos, ha sido clínicamente probada (Kołodziej & Szajewska, 2019; Piper et al., 2020; Selvamani et al., 2022). Los efectos positivos sobre el sistema inmunitario y la barrera mucosa han fomentado el uso de probióticos

de múltiples cepas en la reducción de la mortalidad por enfermedad en lactantes de bajo peso al nacer, prematuros (Morgan et al., 2020; Selvamani et al., 2022).

La técnica de microencapsulación por extrusión es una tecnología simple y económica ampliamente utilizada para encapsular cepas probióticas. Esto mezcla una solución de polímero, la cual generalmente es una solución de hidrocoloides con las células microbianas. La suspensión se vierte a través de una aguja de jeringa en una solución de un agente de reticulación a alta presión, lo que da como resultado un gel (Hathi et al., 2021). Se utiliza para microrecubrimientos proporcionando condiciones de formulación que se enfocan en la preservación de la vida celular. Mediante este método se pueden crear gotas de gel a través de la interacción ionotrópica entre las soluciones acuosas de hidrogel y los iones metálicos divalentes o multivalentes, lo que da como resultado el atrapamiento de las sustancias activas, que para el fin de este estudio serán las células microbianas viables (Khan et al., 2013).

La extrusión es probablemente la metodología de microencapsulación más favorable para las células microbianas, debido a que no necesita altas temperaturas ni ningún solvente para garantizar la supervivencia celular (Mahmoud, Abdallah, El-Shafei, Tawfik y El-Sayed, 2020). La extrusión disminuye la destrucción celular y aumenta la eficiencia de encapsulación.

Por otra parte, en el proceso de secado por aspersion es posible la producción continua de partículas de polvo probiótico seguida de la pulverización de cultivo líquido dentro de la cámara de secado (S. Huang et al., 2017). Diferentes autores sugirieron que el proceso de secado por aspersion es uno de los métodos de conservación más higiénicos, económicos, energéticamente eficientes (Sun, Wang, et al., 2023). La velocidad de secado y la producción continua hacen que los probióticos sean viables incluso después de secarlos a temperaturas más altas que van desde los 150 a 200 °C. Este proceso supera las dificultades involucradas en el mantenimiento y manejo

de cultivos líquidos (Jiang et al., 2022). Además de las bacterias probióticas, el secado por aspersión también es ampliamente aplicable para encapsular diferentes materiales sensibles al calor, como sabores, aromas, colores, pigmentos, lípidos, nutrientes volátiles, etc.

La técnica de secado por aspersión se usa ampliamente en la industria alimentaria para evitar el riesgo de degradación biológica y química de los materiales alimentarios. A partir del uso de esta metodología de microencapsulación se generan micropartículas de 0.2 a 5000 μm , dependiendo del material y método de preparación de la muestra (S. Huang et al., 2017).

5.2 Limitaciones

Debido a que no se evaluó estadísticamente los resultados, no se realizó un metaanálisis de los estudios incluidos, se presentaron los datos más relevantes de los mismos a manera de tablas comparativas las cuales permitan mencionar los diferentes análisis en torno a la microencapsulación de probióticos en matrices alimentarias.

Abordando las limitaciones del uso del biomaterial alginato en las diversas metodologías de microencapsulación, el peso molecular del alginato puede afectar notablemente las características de gelificación, como la hinchazón, la contracción, la rigidez mecánica y la resistencia a la interferencia de cationes monovalentes (Shariatinia & Jalali, 2018). La viscosidad de las soluciones generadas a partir de alginato se ven afectadas principalmente por la concentración y el grado de polimerización (Shariatinia & Jalali, 2018). Además, los agentes quelantes, como el fosfato, el citrato y los cationes antigél (Mg^{2+} y Na^+), se utilizan a menudo en usos biológicos y pueden reducir la durabilidad de los geles de alginato, además este material presenta estabilidad débil, baja barrera e inestabilidad frente al calor por lo cual se hace necesaria

la aplicación de otros biopolímeros para solucionar este problema (Saberri Riseh et al., 2021), especialmente polímeros a base de proteínas y sintéticos, alterando o combinando tratamientos aplicados durante la producción.

Para el uso de *Lactobacillus* como género probiótico de predilección se describe que los beneficios informados de estos probióticos son restringidos en términos de cepas y grupos de estudio. El uso de probióticos está regulado de manera menos estricta en comparación con otros medicamentos, ante esto actualmente se revisa literatura para dar tendencias, referente a la resistencia a los antibióticos de los probióticos *Lactobacillus* (Das et al., 2020).

Por otra parte, para las metodologías más empleadas en los estudios analizados es importante detallar las limitaciones inherentes, en donde el principal inconveniente del método por extrusión es la formación lenta y el gran tamaño de las microcápsulas, lo que no es adecuado para la industria alimentaria (Vivek et al., 2023b).

Para la metodología de secado por aspersion se reportan limitaciones asociadas a la pérdida de viabilidad de las células probióticas durante el secado a alta temperatura dentro de la cámara de secado por atomización, lo cual disminuye la concentración de células probióticas viables (Vivek et al., 2023b).

6. Conclusiones

Las diversas técnicas de microencapsulación de microorganismos probióticos constituyen una alternativa eficaz para mantener tanto la estabilidad como la viabilidad de las células encapsuladas. Se evidencia además el alginato es el material encapsulante de preferencia en múltiples estudios realizados, debido a sus múltiples beneficios para retener probióticos por sus propiedades y condiciones de aplicación, que favorecen la encapsulación de agentes termosensibles. Las condiciones de interés a evaluar son en general los parámetros de procesamiento de alimentos y paso a través de tractos gástricos e intestinales simulados.

Una tendencia actual apunta al uso de coencapsulación de componentes bioactivos, lo que permite no solo la incorporación del probiótico sino de otros compuestos promotores del beneficio para la salud de los consumidores. El análisis comparativo entre técnica de microencapsulación y microorganismos encapsulado demostró que las técnicas más utilizadas para la microencapsulación de microorganismos probióticos son la técnica por extrusión y la técnica de secado por aspersión (*spray drying*), donde se evidencia que el género microbiano más utilizado en estudios de microencapsulación es *Lactobacillus*, seguido de las bifidobacterias. Los factores fisicoquímicos más determinantes en los procesos de microencapsulación se encuentran constituidos por la temperatura, humedad y viscosidad, demostrando que su control durante los procesos de encapsulación permite obtener mejores resultados en las micropartículas generadas. A raíz de la revisión bibliométrica se denota el aumento en la investigación con foco en la temática de interés, donde la tendencia de las publicaciones va al aumento por año.

7. Recomendaciones

Debido a la creciente necesidad por parte del mercado global en la producción de suplementos y alimentos con presencia de microorganismos probióticos se hace necesario el desarrollo de nuevos productos que permitan satisfacer las necesidades de los diversos consumidores. Por ello surge la necesidad de estudiar alimentos diferentes a los lácteos, a base de carne, frutas y vegetales como posibles vehículos de microorganismos probióticos microencapsulados. A pesar de los desafíos que supone la adición de dichos agentes en este tipo de matrices complejas, múltiples estudios han informado que un enfoque adecuado de encapsulación puede permitir generar productos alimenticios no lácteos en matrices alternativas para entregar células probióticas.

Asimismo, se recomienda la exploración de procesos de coencapsulación que analicen la evaluación de técnicas de microencapsulación que no solo contemplen el uso de microorganismos probióticos, sino que además profundicen en las tecnologías que permitan encapsular componentes bioactivos en matrices alimentarias poco convencionales.

Igualmente, se recomienda un análisis comparativo de costo de implementación de las diversas técnicas de encapsulación para determinar la relación costo / beneficio como fundamento de procesos posteriores de escalado industrial.

Para la exploración bibliométrica se recomienda realizar una exploración similar partiendo de otras bases de datos que generen datos comparativos con los obtenidos en este trabajo, incluyendo bases de datos con mayor contenido latinoamericano que evidencie el movimiento en la zona.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Latif, H. M. R., Chaklader, M. R., Shukry, M., Ahmed, H. A., & Khallaf, M. A. (2023). A multispecies probiotic modulates growth, digestive enzymes, immunity, hepatic antioxidant activity, and disease resistance of Pangasianodon hypophthalmus fingerlings. *Aquaculture*, 563. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738948>
- Adıgüzel, E., Çiçek, B., Ünal, G., Aydın, M. F., & Barlak-Keti, D. (2022). Probiotics and prebiotics alleviate behavioral deficits, inflammatory response, and gut dysbiosis in prenatal VPA-induced rodent model of autism. *Physiology and Behavior*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113961>
- Agraib, L. M., Yamani, M. I., Tayyem, R., Abu-Sneineh, A. T., & Rayyan, Y. M. (2022). Probiotic supplementation induces remission and changes in the immunoglobulins and inflammatory response in active ulcerative colitis patients: A pilot, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 51, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.08.020>
- Ahmad Raus, R., Wan Nawawi, W. M. F., & Nasaruddin, R. R. (2021). Alginate and alginate composites for biomedical applications. In *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences* (Vol. 16, Issue 3, pp. 280–306). Shenyang Pharmaceutical University. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2020.10.001>
- Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., & Falah, F. (2019). Inhibition of Escherichia coli adhesion to human intestinal Caco-2 cells by probiotic candidate Lactobacillus plantarum strain L15. *Microbial Pathogenesis*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103677>
- Almada, C. N., Almada-Érix, C. N., Bonatto, M. S., Pradella, F., dos Santos, P., Abud, Y. K. D., Farias, A. S., Martínez, J., Sant'Anna Filho, C. B., Lollo, P. C., Costa, W. K. A., Magnani, M., & Sant'Ana, A. S. (2021). Obtaining paraprotiotics from Lactobacillus acidophilus, Lactocaseibacillus casei and Bifidobacterium animalis using six inactivation methods: Impacts on the cultivability, integrity, physiology, and morphology. *Journal of Functional Foods*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104826>
- Andrés, G., & Perdomo, T. (n.d.). *Análisis de regulaciones sobre evaluación de seguridad y eficacia de probióticos en alimentos y suplementos dietarios*.
- Angélica Andrade Lopes, L., de Siqueira Ferraz Carvalho, R., Stela Santos Magalhães, N., Suely Madruga, M., Julia Alves Aguiar Athayde, A., Araújo Portela, I., Eduardo Barão, C., Colombo Pimentel, T., Magnani, M., & Christina Montenegro Stamford, T. (2020a). Microencapsulation of Lactobacillus acidophilus La-05 and incorporation in vegan milks: Physicochemical characteristics and survival during storage, exposure to stress conditions, and simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109295>
- Angélica Andrade Lopes, L., de Siqueira Ferraz Carvalho, R., Stela Santos Magalhães, N., Suely Madruga, M., Julia Alves Aguiar Athayde, A., Araújo Portela, I., Eduardo Barão, C., Colombo Pimentel, T., Magnani, M., & Christina Montenegro Stamford, T. (2020b).

- Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* La-05 and incorporation in vegan milks: Physicochemical characteristics and survival during storage, exposure to stress conditions, and simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109295>
- Apiwattanasiri, P., Charoen, R., Rittisak, S., Phattayakorn, K., Jantrasee, S., & Savedboworn, W. (2022). Co-encapsulation efficiency of silk sericin-alginate-prebiotics and the effectiveness of silk sericin coating layer on the survival of probiotic *Lactobacillus casei*. *Food Bioscience*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101576>
- Arbolea, S., Watkins, C., Stanton, C., & Ross, R. P. (2016). Gut bifidobacteria populations in human health and aging. *Frontiers in Microbiology*, 7(AUG). <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01204>
- Arepally, D., Reddy, R. S., Goswami, T. K., & Coorey, R. (2022). A Review on Probiotic Microencapsulation and Recent Advances of their Application in Bakery Products. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 15, Issue 8, pp. 1677–1699). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02796-2>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2017.08.007>
- Arslan, S., Erbas, M., Tontul, I., & Topuz, A. (2015). Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var: *Boulardii* with different wall materials by spray drying. *LWT*, 63(1), 685–690. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.034>
- Aygun, H., Akin, A. T., Kızılaslan, N., Sumbul, O., & Karabulut, D. (2022). Probiotic supplementation alleviates absence seizures and anxiety- and depression-like behavior in WAG/Rij rat by increasing neurotrophic factors and decreasing proinflammatory cytokines. *Epilepsy and Behavior*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2022.108588>
- Ayyanna, R., Ankaiah, D., & Arul, V. (2018). Anti-inflammatory and Antioxidant Properties of Probiotic Bacterium *Lactobacillus mucosae* AN1 and *Lactobacillus fermentum* SNR1 in Wistar Albino Rats. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03063>
- Bamola, V. D., Dubey, D., Samanta, P., Kedia, S., Ahuja, V., Madempudi, R. S., Neelamraju, J., & Chaudhry, R. (2022a). Role of a probiotic strain in the modulation of gut microbiota and cytokines in inflammatory bowel disease. *Anaerobe*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2022.102652>
- Bamola, V. D., Dubey, D., Samanta, P., Kedia, S., Ahuja, V., Madempudi, R. S., Neelamraju, J., & Chaudhry, R. (2022b). Role of a probiotic strain in the modulation of gut microbiota and cytokines in inflammatory bowel disease. *Anaerobe*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2022.102652>
- Barros, C. P., Grom, L. C., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Almada, C. N., Pimentel, T. C., Venâncio, E. L., Collopy Junior, I., Maciel, P. M. C., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Duarte, M. C. K. H., Sant'Ana, A. S., & Cruz, A. G. (2021). Paraprobiotic obtained by ohmic heating added in whey-grape juice drink is effective to

- control postprandial glycemia in healthy adults. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 140. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109905>
- Basu, S., Banerjee, D., Chowdhury, R., & Bhattacharya, P. (2018). Controlled release of microencapsulated probiotics in food matrix. *Journal of Food Engineering*, 238, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.005>
- Beldarrain-Iznaga, T., Villalobos-Carvajal, R., Sevillano-Armesto, E., & Leiva-Vega, J. (2021). Functional properties of *Lactobacillus casei* C24 improved by microencapsulation using multilayer double emulsion. *Food Research International*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110136>
- Bennacef, C., Desobry-Banon, S., Probst, L., & Desobry, S. (2021). Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules. In *Food Hydrocolloids* (Vol. 118). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106782>
- Bernardeau, M., Vernoux, J. P., Henri-Dubernet, S., & Guéguen, M. (2008). Safety assessment of dairy microorganisms: The *Lactobacillus* genus. *International Journal of Food Microbiology*, 126(3), 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.08.015>
- Bilenler, T., Karabulut, I., & Candogan, K. (2017). Effects of encapsulated starter cultures on microbial and physicochemical properties of traditionally produced and heat treated sausages (sucuks). *LWT*, 75, 425–433. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.003>
- Bunesova, V., Musilova, S., Geigerova, M., Pechar, R., & Rada, V. (2015). Comparison of mupirocin-based media for selective enumeration of bifidobacteria in probiotic supplements. *Journal of Microbiological Methods*, 109, 106–109. <https://doi.org/10.1016/J.MIMET.2014.12.016>
- Calabuig-Jiménez, L., Betoret, E., Betoret, N., Patrignani, F., Barrera, C., Seguí, L., Lanciotti, R., & Dalla Rosa, M. (2019a). High pressures homogenization (HPH) to microencapsulate *L. salivarius* spp. *salivarius* in mandarin juice. Probiotic survival and in vitro digestion. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 240, pp. 43–48). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.012>
- Calabuig-Jiménez, L., Betoret, E., Betoret, N., Patrignani, F., Barrera, C., Seguí, L., Lanciotti, R., & Dalla Rosa, M. (2019b). High pressures homogenization (HPH) to microencapsulate *L. salivarius* spp. *salivarius* in mandarin juice. Probiotic survival and in vitro digestion. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 240, pp. 43–48). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.012>
- Castro, M., Tatuszka, P., Cox, D. N., Bowen, J., Sanguansri, L., Augustin, M. A., & Stonehouse, W. (2019). Effects on plasma carotenoids and consumer acceptance of a functional carrot-based product to supplement vegetable intake: A randomized clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 60, 103421. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2019.103421>
- Castro-López, C., García, H. S., Guadalupe Martínez-Ávila, G. C., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2021). Genomics-based approaches to identify and predict the health-promoting and safety activities of promising probiotic strains

- A probiogenomics review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 108, pp. 148–163). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.017>
- Champagne, C. P., Gomes da Cruz, A., & Daga, M. (2018). Strategies to improve the functionality of probiotics in supplements and foods. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 22, pp. 160–166). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.008>
- Chan, M. Z. A., & Liu, S. Q. (2022). Coffee brews as food matrices for delivering probiotics: Opportunities, challenges, and potential health benefits. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 119, pp. 227–242). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.030>
- Chang, Y. H., Jeong, C. H., Cheng, W. N., Choi, Y., Shin, D. M., Lee, S., & Han, S. G. (2021a). Quality characteristics of yogurts fermented with short-chain fatty acid-producing probiotics and their effects on mucin production and probiotic adhesion onto human colon epithelial cells. *Journal of Dairy Science*, *104*(7), 7415–7425. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19820>
- Chang, Y. H., Jeong, C. H., Cheng, W. N., Choi, Y., Shin, D. M., Lee, S., & Han, S. G. (2021b). Quality characteristics of yogurts fermented with short-chain fatty acid-producing probiotics and their effects on mucin production and probiotic adhesion onto human colon epithelial cells. *Journal of Dairy Science*, *104*(7), 7415–7425. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19820>
- Chapman, C. M. C., Gibson, G. R., & Rowland, I. (2012). In vitro evaluation of single- and multi-strain probiotics: Inter-species inhibition between probiotic strains, and inhibition of pathogens. *Anaerobe*, *18*(4), 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.05.004>
- Chaudhary, H. J. (2019). Microencapsulation Technology to Enhance the Viability of Probiotic Bacteria in Fermented Foods: An Overview. *International Journal of Fermented Foods*, *8*(2). <https://doi.org/10.30954/2321-712x.02.2019.1>
- Chen, H., Song, Y., Liu, N., Wan, H., Shu, G., & Liao, N. (2015). Effect of complexation conditions on microcapsulation of *Lactobacillus acidophilus* in xanthan-chitosan polyelectrolyte complex gels. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, *14*(3), 207–213. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2015.3.22>
- Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M., & Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. In *Food Research International* (Vol. 136). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502>
- Cunningham, M., Azcarate-Peril, M. A., Barnard, A., Benoit, V., Grimaldi, R., Guyonnet, D., Holscher, H. D., Hunter, K., Manurung, S., Obis, D., Petrova, M. I., Steinert, R. E., Swanson, K. S., van Sinderen, D., Vulevic, J., & Gibson, G. R. (2021). Shaping the Future of Probiotics and Prebiotics. In *Trends in Microbiology* (Vol. 29, Issue 8, pp. 667–685). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.01.003>
- da Costa Neto, J. J. G., Gomes, T. L. M., Justo, T. F., Pereira, K. S., Amaral, P. F. F., Rocha Leão, M. H. M., & Fontes Sant'Ana, G. C. (2019). Microencapsulation of tiger nut milk by lyophilization: Morphological characteristics, shelf life and microbiological stability. *Food Chemistry*, *284*, 133–139. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.01.110>

- Dafe, A., Etemadi, H., Dilmaghani, A., & Mahdavinia, G. R. (2017). Investigation of pectin/starch hydrogel as a carrier for oral delivery of probiotic bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*, *97*, 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.060>
- Dani, S., Prabhu, A., Chaitra, K., Desai, N., Patil, S., & Rajeev, R. (2016). Assessment of *Streptococcus mutans* in healthy versus gingivitis and chronic periodontitis: A clinico-microbiological study. *Contemporary Clinical Dentistry*, *7*(4), 529–534. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.194114>
- Dantas, A., Verruck, S., Canella, M. H. M., Hernandez, E., & Prudencio, E. S. (2021). Encapsulated Bifidobacterium BB-12 addition in a concentrated lactose-free yogurt: Its survival during storage and effects on the product's properties. *Food Research International*, *150*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110742>
- Das, D. J., Shankar, A., Johnson, J. B., & Thomas, S. (2020). Critical insights into antibiotic resistance transferability in probiotic *Lactobacillus*. In *Nutrition* (Vol. 69). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.110567>
- de Liz, G. R., Verruck, S., Canella, M. H. M., Dantas, A., Garcia, S. G., Maran, B. M., Murakami, F. S., & Prudencio, E. S. (2020). Stability of bifidobacteria entrapped in goat's whey freeze concentrate and inulin as wall materials and powder properties. *Food Research International*, *127*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108752>
- de Marco, I., Fusieger, A., Nero, L. A., Kempka, A. P., & Moroni, L. S. (2022). Bacteriocin-like inhibitory substances (BLIS) synthesized by *Lactococcus lactis* LLH20: Antilisterial activity and application for biopreservation of minimally processed lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *42*. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102355>
- Delfanian, M., & Sahari, M. A. (2020). Improving functionality, bioavailability, nutraceutical and sensory attributes of fortified foods using phenolics-loaded nanocarriers as natural ingredients. *Food Research International*, *137*, 109555. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109555>
- Delorme, C., Abraham, A. L., Renault, P., & Guédon, E. (2015). Genomics of *Streptococcus salivarius*, a major human commensal. *Infection, Genetics and Evolution*, *33*, 381–392. <https://doi.org/10.1016/J.MEEGID.2014.10.001>
- Devarajan, A., Mudgil, P., Aldhaheeri, F., Hamed, F., Dhital, S., & Maqsood, S. (2022). Camel milk-derived probiotic strains encapsulated in camel casein and gelatin complex microcapsules: Stability against thermal challenge and simulated gastrointestinal digestion conditions. *Journal of Dairy Science*, *105*(3), 1862–1877. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20745>
- Dhakal, S. P., & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. *Food Research International*, *137*, 109326. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109326>
- Dhopatkar, N., Keeler, J. L., Mutwalli, H., Whelan, K., Treasure, J., & Himmerich, H. (2023). Gastrointestinal symptoms, gut microbiome, probiotics and prebiotics in anorexia nervosa:

- A review of mechanistic rationale and clinical evidence. In *Psychoneuroendocrinology* (Vol. 147). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022.105959>
- Dias, C. O., dos Santos Opuski de Almeida, J., Pinto, S. S., de Oliveira Santana, F. C., Verruck, S., Müller, C. M. O., Prudêncio, E. S., & de Mello Castanho Amboni, R. D. (2018). Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. *Food Bioscience*, 24, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.006>
- Dimidi, E., Christodoulides, S., Scott, S. M., & Whelan, K. (2017). Mechanisms of action of probiotics and the gastrointestinal microbiota on gut motility and constipation. In *Advances in Nutrition* (Vol. 8, Issue 3, pp. 484–494). American Society for Nutrition. <https://doi.org/10.3945/an.116.014407>
- Dimitrellou, D., Kandylis, P., Lević, S., Petrović, T., Ivanović, S., Nedović, V., & Kourkoutas, Y. (2019a). Encapsulation of *Lactobacillus casei* ATCC 393 in alginate capsules for probiotic fermented milk production. *LWT*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108501>
- Dimitrellou, D., Kandylis, P., Lević, S., Petrović, T., Ivanović, S., Nedović, V., & Kourkoutas, Y. (2019b). Encapsulation of *Lactobacillus casei* ATCC 393 in alginate capsules for probiotic fermented milk production. *LWT*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108501>
- Dokoohaki, Z. N., Sekhavatizadeh, S. S., & Hosseinzadeh, S. (2019). Dairy dessert containing microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* (ATCC 53103) with quince seed mucilage as a coating material. *LWT*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108429>
- Dong, Y., Wei, Z., & Xue, C. (2021). Recent advances in carrageenan-based delivery systems for bioactive ingredients: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 112, pp. 348–361). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.012>
- Dordević, D., Jančíková, S., Vítězová, M., & Kushkevych, I. (2021). Hydrogen sulfide toxicity in the gut environment: Meta-analysis of sulfate-reducing and lactic acid bacteria in inflammatory processes. In *Journal of Advanced Research* (Vol. 27, pp. 55–69). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.03.003>
- Douillard, F. P., & de Vos, W. M. (2019). Biotechnology of health-promoting bacteria. *Biotechnology Advances*, 37(6), 107369. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2019.03.008>
- Du, Y., Li, Y., Xu, X., Li, R., Zhang, M., Cui, Y., Zhang, L., Wei, Z., Wang, S., & Tuo, H. (2022). Probiotics for constipation and gut microbiota in Parkinson's disease. *Parkinsonism and Related Disorders*, 103, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2022.08.022>
- Durach, C. F., Kembro, J., & Wieland, A. (2017). A New Paradigm for Systematic Literature Reviews in Supply Chain Management. *Journal of Supply Chain Management*, 53(4), 67–85. <https://doi.org/10.1111/JSCM.12145>
- Fan, S., Zhang, Z., Zhao, Y., Daglia, M., Zhang, J., Zhu, Y., Bai, J., Zhu, L., & Xiao, X. (2023a). Recent advances in targeted manipulation of the gut microbiome by prebiotics: from

- taxonomic composition to metabolic function. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 49). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100959>
- Fan, S., Zhang, Z., Zhao, Y., Daglia, M., Zhang, J., Zhu, Y., Bai, J., Zhu, L., & Xiao, X. (2023b). Recent advances in targeted manipulation of the gut microbiome by prebiotics: from taxonomic composition to metabolic function. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 49). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100959>
- Farias, T. G. S. de, Ladislau, H. F. L., Stamford, T. C. M., Medeiros, J. A. C., Soares, B. L. M., Stamford Arnaud, T. M., & Stamford, T. L. M. (2019). Viabilities of *Lactobacillus rhamnosus* ASCC 290 and *Lactobacillus casei* ATCC 334 (in free form or encapsulated with calcium alginate-chitosan) in yellow mombin ice cream. *LWT*, *100*, 391–396. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.084>
- Fatmi, S., Taouzinet, L., Benslimane, A., Chibani, N., & Hammiche, D. (2022). Drug release and sperm motility protection studies of vitamin E encapsulated in liposome, cyclodextrin or polyethylene glycol. *Materials Today: Proceedings*, *53*, 71–75. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.12.332>
- Favaro-Trindade, C. S., Patel, B., Silva, M. P., Comunian, T. A., Federici, E., Jones, O. G., & Campanella, O. H. (2020). Microencapsulation as a tool to producing an extruded functional food. *LWT*, *128*, 109433. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109433>
- Fernández, J., Redondo-Blanco, S., Gutiérrez-del-Río, I., Miguélez, E. M., Villar, C. J., & Lombó, F. (2016). Colon microbiota fermentation of dietary prebiotics towards short-chain fatty acids and their roles as anti-inflammatory and antitumour agents: A review. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 25, pp. 511–522). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.06.032>
- Fhoula, I., Rehaiem, A., Najjari, A., Usai, D., Boudabous, A., Sechi, L. A., & Hadda-Imene, O. (2018). Functional Probiotic Assessment and In Vivo Cholesterol-Lowering Efficacy of *Weissella* sp. Associated with Arid Lands Living-Hosts. *BioMed Research International*, *2018*. <https://doi.org/10.1155/2018/1654151>
- Figueiredo, J. de A., Silva, C. R. de P., Souza Oliveira, M. F., Norcino, L. B., Campelo, P. H., Botrel, D. A., & Borges, S. V. (2022a). Microencapsulation by spray chilling in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 120, pp. 274–287). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.026>
- Figueiredo, J. de A., Silva, C. R. de P., Souza Oliveira, M. F., Norcino, L. B., Campelo, P. H., Botrel, D. A., & Borges, S. V. (2022b). Microencapsulation by spray chilling in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. *Trends in Food Science & Technology*, *120*, 274–287. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.12.026>
- Finlay, B. B., & Falkow, S. (1997). Common themes in microbial pathogenicity revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *61*(2), 136–169. <https://doi.org/10.1128/MMBR.61.2.136-169.1997>

- Frenkel, E. S., & Ribbeck, K. (2015). Salivary mucins in host defense and disease prevention. *Journal of Oral Microbiology*, 7(1). <https://doi.org/10.3402/JOM.V7.29759>
- Generalmente Reconocido como Seguro (GRAS) | FDA. (n.d.). Retrieved February 15, 2023, from <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras>
- Ghyselinck, J., Verstrepen, L., Moens, F., van den Abbeele, P., Bruggeman, A., Said, J., Smith, B., Barker, L. A., Jordan, C., Leta, V., Chaudhuri, K. R., Basit, A. W., & Gaisford, S. (2021). Influence of probiotic bacteria on gut microbiota composition and gut wall function in an in-vitro model in patients with Parkinson's disease. *International Journal of Pharmaceutics: X*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2021.100087>
- Gu, Y., Wang, C., Qin, X., Zhou, B., Liu, X., Liu, T., Xie, R., Liu, J., Wang, B., & Cao, H. (2022). *Saccharomyces boulardii*, a yeast probiotic, inhibits gut motility through upregulating intestinal serotonin transporter and modulating gut microbiota. *Pharmacological Research*, 181, 106291. <https://doi.org/10.1016/J.PHRS.2022.106291>
- Guan, Q., Xiong, T., & Xie, M. (2021). Influence of Probiotic Fermented Fruit and Vegetables on Human Health and the Related Industrial Development Trend. In *Engineering* (Vol. 7, Issue 2, pp. 212–218). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.03.018>
- Guo, S., Chen, M., Wu, T., Liu, K., Zhang, H., & Wang, J. (2022). Probiotic *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Probio-M8 improves the properties and organic acid metabolism of fermented goat milk. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9426–9438. <https://doi.org/10.3168/JDS.2022-22003>
- Haffner, F. B., & Pasc, A. (2018). Freeze-dried alginate-silica microparticles as carriers of probiotic bacteria in apple juice and beer. *LWT*, 91, 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.050>
- Hathi, Z., Mettu, S., Priya, A., Athukoralalage, S., Lam, T. N., Choudhury, N. R., Dutta, N. K., El-Omar, E. M., Gong, L., Mohan, G., & Lin, C. S. K. (2021). Methodological advances and challenges in probiotic bacteria production: Ongoing strategies and future perspectives. In *Biochemical Engineering Journal* (Vol. 176). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108199>
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* 2014 11:8, 11(8), 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
- Holkem, A. T., Raddatz, G. C., Nunes, G. L., Cichoski, A. J., Jacob-Lopes, E., Ferreira Grosso, C. R., & de Menezes, C. R. (2016). Development and characterization of alginate microcapsules containing *Bifidobacterium* BB-12 produced by emulsification/internal gelation followed by freeze drying. *LWT*, 71, 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.012>

- Huang, R., Wu, F., Zhou, Q., Wei, W., Yue, J., Xiao, B., & Luo, Z. (2022a). Lactobacillus and intestinal diseases: Mechanisms of action and clinical applications. *Microbiological Research*, 260, 127019. <https://doi.org/10.1016/J.MICRES.2022.127019>
- Huang, R., Wu, F., Zhou, Q., Wei, W., Yue, J., Xiao, B., & Luo, Z. (2022b). Lactobacillus and intestinal diseases: Mechanisms of action and clinical applications. In *Microbiological Research* (Vol. 260). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127019>
- Huang, S., Vignolles, M. L., Chen, X. D., Le Loir, Y., Jan, G., Schuck, P., & Jeantet, R. (2017). Spray drying of probiotics and other food-grade bacteria: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 63, pp. 1–17). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.007>
- Huq, T., Frascini, C., Khan, A., Riedl, B., Bouchard, J., & Lacroix, M. (2017). Alginate based nanocomposite for microencapsulation of probiotic: Effect of cellulose nanocrystal (CNC) and lecithin. *Carbohydrate Polymers*, 168, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.032>
- Hutton, B., Catalá-López, F., & Moher, D. (2016). La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Medicina Clinica*, 147(6), 262–266. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.02.025>
- Iqbal, R., Liaqat, A., Jahangir Chughtai, M. F., Tanweer, S., Tehseen, S., Ahsan, S., Nadeem, M., Mehmood, T., Ur Rehman, S. J., Saeed, K., Sameed, N., Aziz, S., Tahir, A. bin, & Khaliq, A. (2021). Microencapsulation: a pragmatic approach towards delivery of probiotics in gut. In *Journal of Microencapsulation* (Vol. 38, Issue 6, pp. 437–458). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/02652048.2021.1949062>
- Ishibashi, N., & Yamazaki, S. (2001). Probiotics and safety. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(2), 465s–470s. <https://doi.org/10.1093/AJCN/73.2.465S>
- Jans, C., Meile, L., Kaindi, D. W. M., Kogi-Makau, W., Lamuka, P., Renault, P., Kreikemeyer, B., Lacroix, C., Hattendorf, J., Zinsstag, J., Schelling, E., Fokou, G., & Bonfoh, B. (2017). African fermented dairy products – Overview of predominant technologically important microorganisms focusing on African *Streptococcus infantarius* variants and potential future applications for enhanced food safety and security. *International Journal of Food Microbiology*, 250, 27–36. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2017.03.012>
- Jardim, M. Z., Vieira De Lima Costa, B., Pessoa, C., & Duarte, C. K. (2021). Ultra-processed foods increase noncommunicable chronic disease risk ☆. *Nutrition Research*, 95, 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.08.006>
- Jena, R., Choudhury, P. K., Puniya, A. K., & Tomar, S. K. (2017). Isolation and species delineation of genus *Bifidobacterium* using PCR-RFLP of partial hsp60 gene fragment. *LWT*, 80, 286–293. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.02.032>

- Ji, C., Gao, Y., Huang, X., Yan, F., & Yu, T. (2023). Microencapsulation of *Bacillus smithii* XY1 by spray drying and evaluation for treatment of inflammatory bowel disease. *Food Bioscience*, 53, 102542. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2023.102542>
- Jiang, J., Ma, C., Song, X., Zeng, J., Zhang, L., & Gong, P. (2022). Spray drying co-encapsulation of lactic acid bacteria and lipids: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 129, pp. 134–143). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.010>
- Jouki, M., Khazaei, N., Rezaei, F., & Taghavian-Saeid, R. (2021). Production of synbiotic freeze-dried yoghurt powder using microencapsulation and cryopreservation of *L. plantarum* in alginate-skim milk microcapsules. *International Dairy Journal*, 122, 105133. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2021.105133>
- Kalita, D., Saikia, S., Gautam, G., Mukhopadhyay, R., & Mahanta, C. L. (2018). Characteristics of synbiotic spray dried powder of litchi juice with *Lactobacillus plantarum* and different carrier materials. *LWT*, 87, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.092>
- Karim, A., Muhammad, T., Shahid Iqbal, M., & Qaisar, R. (2022). A multistrain probiotic improves handgrip strength and functional capacity in patients with COPD: A randomized controlled trial. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104721>
- Karimi, M., Sekhavatizadeh, S. S., & Hosseinzadeh, S. (2021). Milk dessert containing *Lactobacillus reuteri* (ATCC 23272) encapsulated with sodium alginate, *Ferula assa-foetida* and Zedo (*Amygdalus scoparia*) gum as three layers of wall materials. *Food and Bioprocess Processing*, 127, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.03.003>
- Karrar, E., Mahdi, A. A., Sheth, S., Mohamed Ahmed, I. A., Manzoor, M. F., Wei, W., & Wang, X. (2021). Effect of maltodextrin combination with gum arabic and whey protein isolate on the microencapsulation of gurun seed oil using a spray-drying method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 171, 208–216. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.12.045>
- Kavas, N., Kavas, G., Kınık, Ö., Ateş, M., Şatır, G., & Kaplan, M. (2021). The effect of using microencapsulated pro and prebiotics on the aromatic compounds and sensorial properties of synbiotic goat cheese: Aromatic compounds and sensorial properties of synbiotic goat cheese. *Food Bioscience*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101233>
- Keerqin, C., Rhayat, L., Zhang, Z. H., Gharib-Naseri, K., Kheravii, S. K., Devillard, E., Crowley, T. M., & Wu, S. B. (2021). Probiotic *Bacillus subtilis* 29,784 improved weight gain and enhanced gut health status of broilers under necrotic enteritis condition. *Poultry Science*, 100(4), 100981. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2021.01.004>
- Khan, N. H., Korber, D. R., Low, N. H., & Nickerson, M. T. (2013). Development of extrusion-based legume protein isolate-alginate capsules for the protection and delivery of the acid sensitive probiotic, *Bifidobacterium adolescentis*. *Food Research International*, 54(1), 730–737. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.08.017>

- Kim, S. Y., Seo, D. H., Kim, S. H., Hong, Y. S., Lee, J. H., Kim, Y. J., Jung, D. H., Yoo, S. H., & Park, C. S. (2020). Comparative study on four amylosucrases from *Bifidobacterium* species. *International Journal of Biological Macromolecules*, *155*, 535–542. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.03.176>
- Kołodziej, M., & Szajewska, H. (2019). *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 in the prevention of antibiotic-associated diarrhoea in children: a randomized clinical trial. *Clinical Microbiology and Infection*, *25*(6), 699–704. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.08.017>
- Kulangara Varsha, K., Maheshwari, A. P., & Nampoothiri, K. M. (2021). *Narrative Review Accomplishment of probiotics in human health pertaining to immunoregulation and disease control*. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.06.020>
- Legesse Bedada, T., Feto, T. K., Awoke, K. S., Garedew, A. D., Yifat, F. T., & Birri, D. J. (2020). Probiotics for cancer alternative prevention and treatment. In *Biomedicine and Pharmacotherapy* (Vol. 129). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110409>
- Lehtinen, M. J., Kumar, R., Zabel, B., Mäkelä, S. M., Nedveck, D., Tang, P., Latvala, S., Guery, S., & Budinoff, C. R. (2022). The effect of the probiotic consortia on SARS-CoV-2 infection in ferrets and on human immune cell response in vitro. *IScience*, *25*(6). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104445>
- Leylak, C., Özdemir, K. S., Gurakan, G. C., & Ogel, Z. B. (2021). Optimisation of spray drying parameters for *Lactobacillus acidophilus* encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt. *International Dairy Journal*, *112*. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104865>
- Li, C., Wang, J., Wang, Y., Gao, H., Wei, G., Huang, Y., Yu, H., Gan, Y., Wang, Y., Mei, L., Chen, H., Hu, H., Zhang, Z., & Jin, Y. (2019). Recent progress in drug delivery. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, *9*(6), 1145–1162. <https://doi.org/10.1016/J.APSB.2019.08.003>
- Li, K., Wang, B., Wang, W., Liu, G., Ge, W., Zhang, M., Yue, B., & Kong, M. (2019a). Microencapsulation of *Lactobacillus casei* BNCC 134415 under lyophilization enhances cell viability during cold storage and pasteurization, and in simulated gastrointestinal fluids. *LWT*, *116*, 108521. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108521>
- Li, K., Wang, B., Wang, W., Liu, G., Ge, W., Zhang, M., Yue, B., & Kong, M. (2019b). Microencapsulation of *Lactobacillus casei* BNCC 134415 under lyophilization enhances cell viability during cold storage and pasteurization, and in simulated gastrointestinal fluids. *LWT*, *116*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108521>
- Li, K., Wang, B., Wang, W., Liu, G., Ge, W., Zhang, M., Yue, B., & Kong, M. (2019c). Microencapsulation of *Lactobacillus casei* BNCC 134415 under lyophilization enhances cell viability during cold storage and pasteurization, and in simulated gastrointestinal fluids. *LWT*, *116*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108521>
- Lima, M. dos S. F. de, Souza, K. M. S. de, Albuquerque, W. W. C., Teixeira, J. A. C., Cavalcanti, M. T. H., & Porto, A. L. F. (2017). *Saccharomyces cerevisiae* from Brazilian

- kefir-fermented milk: An in vitro evaluation of probiotic properties. *Microbial Pathogenesis*, 110, 670–677. <https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2017.05.010>
- Liu, C., Li, M., Ren, T., Wang, J., Niu, C., Zheng, F., & Li, Q. (2022). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* strains on alcoholic fermentation behavior and aroma profile of yellow-fleshed peach wine. *LWT*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112993>
- Liu, X., Qiu, X., Yang, Y., Wang, J., Wang, Q., Liu, J., Yang, F., Liu, Z., & Qi, R. (2023). Alteration of gut microbiome and metabolome by *Clostridium butyricum* can repair the intestinal dysbiosis caused by antibiotics in mice. *IScience*, 106190. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106190>
- Liu, Y., Dong, L., Li, Y., Chen, Q., Wang, L., Farag, M. A., Liu, L., Zhan, S., Wu, Z., & Liu, L. (2023). Soy protein isolate-citrus pectin composite hydrogels induced by TGase and ultrasonic treatment: Potential targeted delivery system for probiotics. *Food Hydrocolloids*, 108901. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108901>
- Lok Yee, W., Li Yee, C., Kar Lin, N., & Liew Phing, P. (n.d.). *Microencapsulation of Lactobacillus acidophilus NCFM incorporated with mannitol and its storage stability in mulberry tea* *Microencapsulação de NCFM de Lactobacillus acidophilus com manitol e sua estabilidade de armazenamento em chá de amoreira*. 1981–1829. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943005819>
- Lopes, L. A. A., Pimentel, T. C., Carvalho, R. de S. F., Madruga, M. S., Galvão, M. de S., Bezerra, T. K. A., Barão, C. E., Magnani, M., & Stamford, T. C. M. (2021). Spreadable goat Ricotta cheese added with *Lactobacillus acidophilus* La-05: Can microencapsulation improve the probiotic survival and the quality parameters? *Food Chemistry*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128769>
- Lu, M., Chen, C., Xiao, J., Lan, Y., Cao, Y., Huang, Q., & Ho, C. T. (2022). Health benefits of bioactive components in pungent spices mediated via the involvement of TRPV1 channel. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 266–282. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.10.002>
- Luiza Koop, B., Nascimento da Silva, M., Diniz da Silva, F., Thayres dos Santos Lima, K., Santos Soares, L., José de Andrade, C., Ayala Valencia, G., & Rodrigues Monteiro, A. (2022a). Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. *Food Research International*, 153, 110929. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110929>
- Luiza Koop, B., Nascimento da Silva, M., Diniz da Silva, F., Thayres dos Santos Lima, K., Santos Soares, L., José de Andrade, C., Ayala Valencia, G., & Rodrigues Monteiro, A. (2022b). Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. *Food Research International*, 153, 110929. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110929>
- Machado Vasconcelos, L. I., Silva-Buzanello, R. A. da, Kalschne, D. L., Scremin, F. R., Stival Bittencourt, P. R., Gaudêncio Dias, J. T., Canan, C., & Corso, M. P. (2021). Functional

- fermented sausages incorporated with microencapsulated *Lactobacillus plantarum* BG 112 in Acrycoat S100. *LWT*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111596>
- Maleki, O., Khaledabad, M. A., Amiri, S., Asl, A. K., & Makouie, S. (2020). Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 in whey protein isolate-crystalline nanocellulose-inulin composite enhanced gastrointestinal survivability. *LWT*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109224>
- Mapelli-Brahm, P., & Meléndez-Martínez, A. J. (2021). The colourless carotenoids phytoene and phytofluene: sources, consumption, bioavailability and health effects. *Current Opinion in Food Science*, 41, 201–209. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2021.04.013>
- Marques da Silva, T., Sonza Pinto, V., Ramires Fonseca Soares, V., Marotz, D., Cichoski, A. J., Queiroz Zepka, L., Jacob Lopes, E., de Bona da Silva, C., & de Menezes, C. R. (2021). Viability of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* by complex coacervation associated with enzymatic crosslinking under application in different fruit juices. *Food Research International*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110190>
- Marquez, A., Andrada, E., Russo, M., Bolondi, M. L., Fabersani, E., Medina, R., & Gauffin-Cano, P. (2022). Characterization of autochthonous lactobacilli from goat dairy products with probiotic potential for metabolic diseases. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10462>
- Martín, M. J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M. A., & Morales, M. E. (2015). Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 27, pp. 15–25). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>
- Martinez, F. A. C., Balciunas, E. M., Converti, A., Cotter, P. D., & De Souza Oliveira, R. P. (2013). Bacteriocin production by *Bifidobacterium* spp. A review. *Biotechnology Advances*, 31(4), 482–488. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2013.01.010>
- Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & Delgado López-Cózar, E. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160–1177. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002>
- McClements, D. J., & Li, Y. (2010). Structured emulsion-based delivery systems: Controlling the digestion and release of lipophilic food components. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 213–228. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2010.06.010>
- Meyer-Déru, L., David, G., & Auvergne, R. (2022). Chitosan chemistry review for living organisms encapsulation. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 295). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119877>
- Misra, S., Pandey, P., Dalbhagat, C. G., & Mishra, H. N. (2022). Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotication in Food Products: a Review. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 15, Issue 5, pp. 998–1039). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02753-5>

- Morgan, R. L., Preidis, G. A., Kashyap, P. C., Weizman, A. V., Sadeghirad, B., Chang, Y., Florez, I. D., Foroutan, F., Shahid, S., & Zeraatkar, D. (2020). Probiotics Reduce Mortality and Morbidity in Preterm, Low-Birth-Weight Infants: A Systematic Review and Network Meta-analysis of Randomized Trials. *Gastroenterology*, *159*(2), 467–480. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.05.096>
- Mörschbacher, A. P., & Granada, C. E. (2022). Mapping the worldwide knowledge of antimicrobial substances produced by *Lactobacillus* spp.: A bibliometric analysis. *Biochemical Engineering Journal*, *180*, 108343. <https://doi.org/10.1016/J.BEJ.2022.108343>
- Mousavi, M., Heshmati, A., Garmakhany, A. D., Vahidinia, A., & Taheri, M. (2019). Optimization of the viability of *Lactobacillus acidophilus* and physico-chemical, textural and sensorial characteristics of flaxseed-enriched stirred probiotic yogurt by using response surface methodology. *LWT*, *102*, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.023>
- Mutaliyeva, B., Grigoriev, D., Madybekova, G., Sharipova, A., Aidarova, S., Saparbekova, A., & Miller, R. (2017). Microencapsulation of insulin and its release using w/o/w double emulsion method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *521*, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.10.041>
- Muzzafar, A., & Sharma, V. (2018). Microencapsulation of probiotics for incorporation in cream biscuits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(3), 2193–2201. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9835-z>
- Nambiar, R. B., Sellamuthu, P. S., & Perumal, A. B. (2018). Development of milk chocolate supplemented with microencapsulated *Lactobacillus plantarum* HM47 and to determine the safety in a Swiss albino mice model. *Food Control*, *94*, 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.024>
- Nami, Y., Lornezhad, G., Kiani, A., Abdullah, N., & Haghshenas, B. (2020a). Alginate-Persian Gum-Prebiotics microencapsulation impacts on the survival rate of *Lactococcus lactis* ABRIINW-N19 in orange juice. *LWT*, *124*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109190>
- Nami, Y., Lornezhad, G., Kiani, A., Abdullah, N., & Haghshenas, B. (2020b). Alginate-Persian Gum-Prebiotics microencapsulation impacts on the survival rate of *Lactococcus lactis* ABRIINW-N19 in orange juice. *LWT*, *124*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109190>
- Neekhra, S., Pandith, J. A., Mir, N. A., Manzoor, A., Ahmad, S., Ahmad, R., & Sheikh, R. A. (2022). Innovative approaches for microencapsulating bioactive compounds and probiotics: An updated review. In *Journal of Food Processing and Preservation*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16935>
- Nezamdoost-Sani, N., Khaledabad, M. A., Amiri, S., & Mousavi Khaneghah, A. (2023a). Alginate and derivatives hydrogels in encapsulation of probiotic bacteria: An updated review. *Food Bioscience*, *52*, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102433>
- Nezamdoost-Sani, N., Khaledabad, M. A., Amiri, S., & Mousavi Khaneghah, A. (2023b). Alginate and derivatives hydrogels in encapsulation of probiotic bacteria: An updated review. *Food Bioscience*, *52*, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102433>

- Oberg, T. S., McMahon, D. J., Culumber, M. D., McAuliffe, O., & Oberg, C. J. (2022). Invited review: Review of taxonomic changes in dairy-related lactobacilli. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 105, Issue 4, pp. 2750–2770). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21138>
- Olivares, A., Soto, C., Caballero, E., & Altamirano, C. (2019). Survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* (prepared by vibration technology) in fruit juice during cold storage. *Electronic Journal of Biotechnology*, *42*, 42–48. <https://doi.org/10.1016/J.EJBT.2019.10.002>
- O’Shea, E. F., Cotter, P. D., Stanton, C., Ross, R. P., & Hill, C. (2012). Production of bioactive substances by intestinal bacteria as a basis for explaining probiotic mechanisms: Bacteriocins and conjugated linoleic acid. *International Journal of Food Microbiology*, *152*(3), 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.05.025>
- Pace, F., Macchini, F., & Massimo Castagna, V. (2020). Safety of probiotics in humans: A dark side revealed? In *Digestive and Liver Disease* (Vol. 52, Issue 9, pp. 981–985). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2020.04.029>
- Pachacama López, A. F., Tapia Portilla, M. F., Moreno-Piedrahíta Hernández, F., & Palacios-Álvarez, S. (2021). Probiotics to Reduce the Severity of Atopic Dermatitis in Pediatric Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Actas Dermo-Sifiliográficas (English Edition)*, *112*(10), 881–890. <https://doi.org/10.1016/J.ADENGL.2021.06.006>
- 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. (2021a). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, *74*(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2021.06.016>
- 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. (2021b). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. In *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pandey, P., Mettu, S., Mishra, H. N., Ashokkumar, M., & Martin, G. J. O. (2021). Multilayer co-encapsulation of probiotics and γ -amino butyric acid (GABA) using ultrasound for functional food applications. *LWT*, *146*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111432>
- Paula, D. de A., Martins, E. M. F., Costa, N. de A., de Oliveira, P. M., de Oliveira, E. B., & Ramos, A. M. (2019). Use of gelatin and gum arabic for microencapsulation of probiotic cells from *Lactobacillus plantarum* by a dual process combining double emulsification followed by complex coacervation. *International Journal of Biological Macromolecules*, *133*, 722–731. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.04.110>

- Petrova, M. I., Reid, G., & ter Haar, J. A. (2021). Lacticaseibacillus rhamnosus GR-1, a.k.a. Lactobacillus rhamnosus GR-1: Past and Future Perspectives. *Trends in Microbiology*, 29(8), 747–761. <https://doi.org/10.1016/J.TIM.2021.03.010>
- Piewngam, P., Khongthong, S., Roekngam, N., Theapparat, Y., Sunpaweravong, S., Faroongsarng, D., & Otto, M. (2023). Probiotic for pathogen-specific Staphylococcus aureus decolonisation in Thailand: a phase 2, double-blind, randomised, placebo-controlled trial. *The Lancet Microbe*. [https://doi.org/10.1016/s2666-5247\(22\)00322-6](https://doi.org/10.1016/s2666-5247(22)00322-6)
- Pinto, S. S., Fritzen-Freire, C. B., Dias, C. O., & Amboni, R. D. M. C. (2019). A potential technological application of probiotic microcapsules in lactose-free Greek-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 97, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.009>
- Piper, H. G., Coughlin, L. A., Hussain, S., Nguyen, V., Channabasappa, N., & Koh, A. Y. (2020). The Impact of Lactobacillus Probiotics on the Gut Microbiota in Children With Short Bowel Syndrome. *Journal of Surgical Research*, 251, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.01.024>
- Pourjafar, H., Noori, N., Gandomi, H., Basti, A. A., & Ansari, F. (2020). Viability of microencapsulated and non-microencapsulated Lactobacilli in a commercial beverage. *Biotechnology Reports*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00432>
- Pradhan, D., Mallappa, R. H., & Grover, S. (2020). Comprehensive approaches for assessing the safety of probiotic bacteria. In *Food Control* (Vol. 108). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106872>
- Praepanitchai, O. A., Noomhorm, A., Anal, A. K., & Potes, M. E. (2019). Survival and Behavior of Encapsulated Probiotics (Lactobacillus plantarum) in Calcium-Alginate-Soy Protein Isolate-Based Hydrogel Beads in Different Processing Conditions (pH and Temperature) and in Pasteurized Mango Juice. *BioMed Research International*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9768152>
- Prasanna, P. H. P., & Charalampopoulos, D. (2018). Encapsulation of Bifidobacterium longum in alginate-dairy matrices and survival in simulated gastrointestinal conditions, refrigeration, cow milk and goat milk. *Food Bioscience*, 21, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.002>
- Reid, G., Gadir, A. A., & Dhir, R. (2019). Probiotics: Reiterating What They Are and What They Are Not. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAR). <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.00424>
- Reque, P. M., & Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 114, pp. 1–10). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.022>
- Resolución No. 810de 2021.* (n.d.).
- Rodrigues, F. J., Cedran, M. F., Bicas, J. L., & Sato, H. H. (2020). Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications – A

- narrative review. In *Food Research International* (Vol. 137). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682>
- Roe, A. L., Boyte, M. E., Elkins, C. A., Goldman, V. S., Heimbach, J., Madden, E., Oketch-Rabah, H., Sanders, M. E., Sirois, J., & Smith, A. (2022a). Considerations for determining safety of probiotics: A USP perspective. In *Regulatory Toxicology and Pharmacology* (Vol. 136). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105266>
- Roe, A. L., Boyte, M. E., Elkins, C. A., Goldman, V. S., Heimbach, J., Madden, E., Oketch-Rabah, H., Sanders, M. E., Sirois, J., & Smith, A. (2022b). Considerations for determining safety of probiotics: A USP perspective. In *Regulatory Toxicology and Pharmacology* (Vol. 136). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105266>
- Rosolen, M. D., Bordini, F. W., de Oliveira, P. D., Conceição, F. R., Pohndorf, R. S., Fiorentini, Â. M., da Silva, W. P., & Pieniz, S. (2019). Symbiotic microencapsulation of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* R7 using whey and inulin by spray drying. *LWT*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108411>
- Salminen, S., Von Wright, A., Morelli, L., Marteau, P., Brassart, D., De Vos, W. M., Fondén, R., Saxelin, M., Collins, K., Mogensen, G., Birkeland, S. E., & Mattila-Sandholm, T. (1998). Demonstration of safety of probiotics — a review. *International Journal of Food Microbiology*, 44(1–2), 93–106. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00128-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00128-7)
- Samedi, L., & Charles, A. L. (2019). Viability of 4 Probiotic Bacteria Microencapsulated with Arrowroot Starch in the Simulated Gastrointestinal Tract (GIT) and Yoghurt. *Foods* 2019, Vol. 8, Page 175, 8(5), 175. <https://doi.org/10.3390/FOODS8050175>
- Selvamani, S., Mehta, V., Ali El Enshasy, H., Thevarajoo, S., El Adawi, H., Zeini, I., Pham, K., Varzakas, T., & Abomoelak, B. (2022). Efficacy of Probiotics-Based Interventions as Therapy for Inflammatory Bowel Disease: A Recent Update. In *Saudi Journal of Biological Sciences* (Vol. 29, Issue 5, pp. 3546–3567). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.044>
- Seth, D., Mishra, H. N., & Deka, S. C. (2017a). Effect of microencapsulation using extrusion technique on viability of bacterial cells during spray drying of sweetened yoghurt. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 802–807. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.05.099>
- Seth, D., Mishra, H. N., & Deka, S. C. (2017b). Effect of microencapsulation using extrusion technique on viability of bacterial cells during spray drying of sweetened yoghurt. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 802–807. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.099>
- Shoukat, S. (2020). Potential anti-carcinogenic effect of probiotic and lactic acid bacteria in detoxification of benzo[a]pyrene: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 99, pp. 450–459). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.029>

- Singh, D., Khan, M. A., & Siddique, H. R. (2021). Therapeutic implications of probiotics in microbiota dysbiosis: A special reference to the liver and oral cancers. In *Life Sciences* (Vol. 285). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.120008>
- Soares, M. B., Martinez, R. C. R., Pereira, E. P. R., Balthazar, C. F., Cruz, A. G., Ranadheera, C. S., & Sant'Ana, A. S. (2019). The resistance of *Bacillus*, *Bifidobacterium*, and *Lactobacillus* strains with claimed probiotic properties in different food matrices exposed to simulated gastrointestinal tract conditions. *Food Research International*, *125*, 108542. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.108542>
- Sogut, E., Filiz, B. E., & Seydim, A. C. (2022). Whey protein isolate- and carrageenan-based edible films as carriers of different probiotic bacteria. *Journal of Dairy Science*, *105*(6), 4829–4842. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21245>
- Solano López, E., Castellanos Quintero, S. J., Magdalena López Rodríguez del Rey, M., & Hernández Fernández, J. I. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *MediSur*, *7*(4), 59–62. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2009000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Souza, M., Mesquita, A., Souza, P., Borges, G., Silva, T., Converti, A., & Maciel, M. I. (2021). New functional non-dairy mixed tropical fruit juice microencapsulated by spray drying: Physicochemical characterization, bioaccessibility, genetic identification and stability. *LWT*, *152*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112271>
- Spinler, J. K., Ross, C. L., & Savidge, T. C. (2016). Probiotics as adjunctive therapy for preventing *Clostridium difficile* infection – What are we waiting for? *Anaerobe*, *41*, 51–57. <https://doi.org/10.1016/J.ANAEROBE.2016.05.007>
- Srikham, K., & Thirabunyanon, M. (2022). Bioprophylactic potential of novel human colostrum probiotics via apoptotic induction of colon cancer cells and cell immune activation. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *149*, 112871. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPHA.2022.112871>
- Srisuk, N., & Jirasatid, S. (2020). Characteristics co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with *Dictyophora indusiata*. *Current Research in Nutrition and Food Science*, *8*(3), 1013–1024. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.3.28>
- Sun, C., Wang, S., Yang, L., & Song, H. (2023). Advances in probiotic encapsulation methods to improve bioactivity. In *Food Bioscience* (Vol. 52). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102476>
- Sun, C., Wei, Z., Xue, C., & Yang, L. (2023). Development, application and future trends of starch-based delivery systems for nutraceuticals: A review. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 308). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120675>
- Tao, J., Wang, S., Qiu, H., Xie, R., Zhang, H., Chen, N., & Li, S. (2022). Modulation of growth performance, antioxidant capacity, non-specific immunity and disease resistance in

- largemouth bass (*Micropterus salmoides*) upon compound probiotic cultures inclusion. *Fish and Shellfish Immunology*, 127, 804–812. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.07.031>
- Tarifa, M. C., Piqueras, C. M., Genovese, D. B., & Brugnoli, L. I. (2021). Microencapsulation of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus rhamnosus* in pectin and pectin-inulin microgel particles: Effect on bacterial survival under storage conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 179, 457–465. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.038>
- Tarrah, A., Noal, V., Giaretta, S., Treu, L., da Silva Duarte, V., Corich, V., & Giacomini, A. (2018). Effect of different initial pH on the growth of *Streptococcus macedonicus* and *Streptococcus thermophilus* strains. *International Dairy Journal*, 86, 65–68. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2018.07.003>
- Tegegne, B. A., & Kebede, B. (2022). Probiotics, their prophylactic and therapeutic applications in human health development: A review of the literature. In *Heliyon* (Vol. 8, Issue 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09725>
- Ugbaja, R. N., Okedairo, O. M., Oloyede, A. R., Ugwor, E. I., Akinloye, D. I., Ojo, O. P., & Ademuyiwa, O. (2020). Probiotics consortium synergistically ameliorates aflatoxin B1-induced disruptions in lipid metabolism of female albino rats. *Toxicol*, 186, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.toxicol.2020.08.007>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). *Software Survey VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. Scientometrics*, 84, 523-538. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Retrieved June 2, 2023, from <https://www.scirp.org/%28S%28lz5mqp453edsnp55rrgjct55%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=3093020>
- Vivek, K., Mishra, S., & Pradhan, R. C. (2020). Characterization of spray dried probiotic Sohiong fruit powder with *Lactobacillus plantarum*. *LWT*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108699>
- Vivek, K., Mishra, S., Pradhan, R. C., Nagarajan, M., Kumar, P. K., Singh, S. S., Manvi, D., & Gowda, N. N. (2023a). A comprehensive review on microencapsulation of probiotics: technology, carriers and current trends. *Applied Food Research*, 3(1), 100248. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100248>
- Vivek, K., Mishra, S., Pradhan, R. C., Nagarajan, M., Kumar, P. K., Singh, S. S., Manvi, D., & Gowda, N. N. (2023b). A comprehensive review on microencapsulation of probiotics: technology, carriers and current trends. In *Applied Food Research* (Vol. 3, Issue 1). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100248>
- Wang, H., Wang, F., Liao, Q., & Li, X. (2015). Synthesis of millimeter-scale Al₂O₃ ceramic hollow spheres by an improved emulsion microencapsulation method. *Ceramics International*, 41(3), 4959–4965. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2014.12.059>
- Wang, J., Ji, H., Wang, S., Liu, H., Zhang, W., Zhang, D., & Wang, Y. (2018). Probiotic *Lactobacillus plantarum* promotes intestinal barrier function by strengthening the epithelium

and modulating gut microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 9(AUG), 1953.
<https://doi.org/10.3389/FMICB.2018.01953/BIBTEX>

Wang, M., Liu, P., Kong, L., Xu, N., & Lei, H. (2021a). Promotive effects of sesamin on proliferation and adhesion of intestinal probiotics and its mechanism of action. *Food and Chemical Toxicology*, 149, 112049. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2021.112049>

Wang, M., Liu, P., Kong, L., Xu, N., & Lei, H. (2021b). Promotive effects of sesamin on proliferation and adhesion of intestinal probiotics and its mechanism of action. *Food and Chemical Toxicology*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112049>

Yan, Y., Hu, J., & Yao, P. (2009). Effects of Casein, ovalbumin, and dextran on the astringency of tea polyphenols determined by quartz crystal microbalance with dissipation. *Langmuir*, 25(1), 397–402. https://doi.org/10.1021/LA8030123/ASSET/IMAGES/MEDIUM/LA-2008-030123_0005.GIF

Yari, M., Fooladi, J., Ali, M., & Motlagh, K. (2015). Microencapsulation and Fermentation of Lactobacillus acidophilus LA-5 and Bifidobacterium BB-12. *Original Article APPLIED FOOD BIOTECHNOLOGY*, 2(4), 27–32. www.journals.sbmu.ac.ir/afb

Yilmaz, M. T., Taylan, O., Karakas, C. Y., & Dertli, E. (2020). An alternative way to encapsulate probiotics within electrospun alginate nanofibers as monitored under simulated gastrointestinal conditions and in kefir. *Carbohydrate Polymers*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116447>

Yoha, K. S., Nida, S., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Targeted Delivery of Probiotics: Perspectives on Research and Commercialization. In *Probiotics and Antimicrobial Proteins* (Vol. 14, Issue 1, pp. 15–48). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09791-7>

Zhang, X., Ali Esmail, G., Fahad Alzeer, A., Valan Arasu, M., Vijayaraghavan, P., Choon Choi, K., & Abdullah Al-Dhabi, N. (2020). Probiotic characteristics of Lactobacillus strains isolated from cheese and their antibacterial properties against gastrointestinal tract pathogens. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3505–3513. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2020.10.022>

Zhang, X., Pang, G., Sun, T., Liu, X., Pan, H., Zhang, Y., Liu, J., Chang, J., Wang, H., & Liu, D. (2023). A red light-controlled probiotic bio-system for in-situ gut-brain axis regulation. *Biomaterials*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2023.122005>

Zhao, S., Feng, P., Hu, X., Cao, W., Liu, P., Han, H., Jin, W., & Li, X. (2022). Probiotic Limosilactobacillus fermentum GR-3 ameliorates human hyperuricemia via degrading and promoting excretion of uric acid. *IScience*, 25(10). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105198>

Zhu, Y., Wang, Z., Bai, L., Deng, J., & Zhou, Q. (2021). Biomaterial-based encapsulated probiotics for biomedical applications: Current status and future perspectives. *Materials & Design*, 210, 110018. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2021.110018>



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6)8 93 30 50 - www.ucm.edu.co