

Technologies for Transforming Fermented Beverages from Liquid to Powder: A Systematic Literature Review

Córdova García, Cinthia Coraima¹, García Peña, Lorena Yasmin², Lozada Coello, Ana Lucía³, Mathews Mendoza, Gladys Darlyn⁴, Tocto Correa, Flora Isabel⁵, Rojas Estela, Daniela Rosa Angélica⁶

Universidad Tecnológica del Perú, U20243796@utp.edu.pe

Universidad Tecnológica del Perú, U20222176@utp.edu.pe

Universidad Tecnológica del Perú, U20229166@utp.edu.pe

Universidad Tecnológica del Perú, U21304853@utp.edu.pe

Universidad Tecnológica del Perú, U20228960@utp.edu.pe

Universidad Tecnológica del Perú, U20216304@utp.edu.pe

Abstract– The growing need to extend shelf life, facilitate transportation, and preserve bioactive compounds in fermented beverages has driven increasing interest in their conversion to powder form. This process requires maintaining physicochemical, sensory, and microbiological properties that ensure functional and nutritional value. This systematic review evaluated the most effective technologies for obtaining powdered fermented beverages, using a non-experimental descriptive design based on PRISMA and PICOC criteria, including studies published between 2020 and 2025 in Scopus, Web of Science, and EBSCOhost. Results showed that spray drying was the predominant technique, standing out for its energy efficiency, ease of industrial scaling, and process yields ranging from 70% to 97.5%, along with encapsulation efficiencies of bioactive compounds between 72% and 85%. Freeze-drying, although less commonly used due to its high energy consumption, demonstrated superior preservation of sensory, nutritional, and microbiological quality, with bioactive compound retention between 78% and 99.6%, water activity values ranging from 0.336 to 0.392 aw, and microbial viability close to 93%. Beverages such as water kefir, craft beer, yogurt, fermented milks, and fermented guava and noni juices have been successfully powdered while maintaining their functional stability. However, traditional beverages such as chicha de jora have received limited research attention, highlighting the need for future studies aimed at optimizing their transformation and promoting their technological and industrial valorization.

Keywords– Fermentation, beverages, food technology, drying, maize.

Tecnologías de transformación de bebidas fermentadas de estado líquido a polvo : Revisión Sistemática de Literatura

Córdova García, Cinthia Coraima¹, García Peña, Lorena Yasmin², Lozada Coello, Ana Lucía³, Mathews Mendoza, Gladys Darlyn⁴, Tocco Correa, Flora Isabel⁵, Rojas Estela, Daniela Rosa Angélica⁶
Universidad Tecnológica del Perú, U20243796@utp.edu.pe
Universidad Tecnológica del Perú, U20222176@utp.edu.pe
Universidad Tecnológica del Perú, U20229166@utp.edu.pe
Universidad Tecnológica del Perú, U21304853@utp.edu.pe
Universidad Tecnológica del Perú, U20228960@utp.edu.pe
Universidad Tecnológica del Perú, U20216304@utp.edu.pe

Resumen – La creciente necesidad de prolongar la vida útil, facilitar el transporte y conservar compuestos bioactivos de las bebidas fermentadas ha impulsado el interés en su conversión a polvo. Este proceso exige mantener propiedades fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas que garanticen su valor funcional y nutricional. La presente revisión sistemática evaluó las tecnologías más eficaces para obtener bebidas fermentadas en polvo, mediante un diseño descriptivo no experimental basado en los criterios PRISMA y PICOC, incluyendo estudios publicados entre 2020 y 2025 en Scopus, Web of Science y EBSCOhost. Los resultados mostraron que el secado por aspersión fue la técnica predominante, destacando por su eficiencia energética, facilidad de escalado industrial y rendimientos de proceso entre 70 % y 97,5 %, además de eficiencias de encapsulación de compuestos bioactivos entre 72 % y 85 %. La liofilización, aunque menos empleada por su alto consumo energético, demostró superior preservación de la calidad sensorial, nutricional y microbiológica, con retención de compuestos bioactivos entre 78 % y 99,6 %, actividad de agua entre 0,336 y 0,392 aw, y viabilidad microbiana cercana al 93 %. Bebidas como kéfir de agua, cerveza artesanal, yogur, leches fermentadas y jugos fermentados de guayaba y noni han sido pulverizadas exitosamente, conservando su estabilidad funcional. Sin embargo, bebidas tradicionales como la chicha de jora presentan escasa investigación, lo que evidencia la necesidad de estudios futuros orientados a optimizar su transformación y promover su valorización tecnológica e industrial.

Palabras clave: Fermentación, bebidas alimenticias, tecnología de los alimentos, secado, maíz.

I. INTRODUCCIÓN

Las bebidas fermentadas ofrecen importantes beneficios nutricionales y funcionales debido a la presencia de microorganismos probióticos y compuestos bioactivos resultantes del proceso de fermentación [1] [2]. La industria alimentaria ha mostrado creciente interés por desarrollar productos innovadores derivados de estas bebidas, buscando extender su vida útil y ampliar sus aplicaciones comerciales [3] [4].

La transformación de bebidas fermentadas de estado líquido a polvo permite reducir costos de transporte, facilitar el manejo del producto y prolongar significativamente su vida útil [5] [6]. Las tecnologías más estudiadas incluyen el secado por

aspersión (spray drying), la liofilización (freeze drying) y el secado al vacío, cada una con ventajas y limitaciones específicas [4] [7] [8]. En Latinoamérica, bebidas tradicionales como la chicha de jora, elaborada a partir de maíz malteado (*Zea mays*), representan un patrimonio cultural valioso aunque su naturaleza líquida limita su industrialización [1] [9] [10].

Existe una fragmentación considerable en la literatura respecto a las tecnologías más eficientes para transformar bebidas fermentadas a polvo. Las investigaciones reportan resultados variables en supervivencia microbiana y retención de compuestos bioactivos [4] [7] [11] [12] [13] dificultando la identificación de mejores prácticas según el tipo de bebida. Se carece de visión panorámica que integre sistemáticamente información sobre estas tecnologías [1] [14], con limitada comprensión sobre las características críticas que deben preservarse durante la transformación [15] [16]. Para bebidas como la chicha de jora, no existe información consolidada ni experiencias exitosas de pulverización [10] [17] [18].

En este contexto, esta revisión sistemática tiene como objetivo proporcionar una síntesis organizada sobre tecnologías de transformación de bebidas fermentadas de líquido a polvo, identificando tecnologías eficientes y parámetros críticos. Los resultados serán útiles para investigadores y empresas interesadas en desarrollar productos innovadores [2] [19]. Además, para bebidas tradicionales como la chicha de jora, esta información es fundamental para diseñar estrategias de industrialización que preserven su autenticidad cultural [9] [20], y para ampliar las posibilidades de uso de estos productos en polvo como ingredientes funcionales o suplementos nutricionales [3] [6] [11] [21].

Para ello, el documento se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe la metodología aplicada, detallando la estrategia PICOC y los criterios de selección de artículos. La sección 3 expone y analiza los resultados principales, mientras que la sección 4 discute los hallazgos en relación con la literatura. Finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones,

implicaciones prácticas y recomendaciones para futuras investigaciones.

II. METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda

Para desarrollar una búsqueda exhaustiva y estructurada, se aplicó la estrategia PICOC, que permite formular una pregunta central de investigación junto con preguntas secundarias basadas en parámetros claramente definidos. Se emplearon términos de búsqueda específicos en bases de datos científicas y plataformas académicas, garantizando la selección de estudios a través de criterios rigurosos de inclusión y exclusión. Esta metodología asegura que los estudios seleccionados sean relevantes y representativos del campo de investigación.

Asimismo, la revisión también se basó en el método PRISMA, una guía ampliamente reconocida para la realización y presentación de revisiones sistemáticas y metaanálisis, lo que proporciona un enfoque metodológico transparente y reproducible.

TABLA I
TABLA PICO

P	C	O	C
Problema/ Población	Comparación	Resultados	Contexto
Bebidas fermentadas	Tecnologías para transformar bebidas fermentadas de líquido a polvo	Bebidas fermentadas en polvo	Variedades de maíz para producir bebidas fermentadas
PI: ¿Cómo se puede transformar las bebidas fermentadas de estado líquido a polvo?			
PI1: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas de las bebidas fermentadas?			
PI2: ¿Cuál es el proceso de obtención de las bebidas fermentadas?			
PI3: ¿Cuáles son las tecnologías más eficientes para convertir bebidas fermentadas en polvo?			
PI4: ¿Qué bebidas fermentadas han logrado ser pulverizadas con éxito?			
PI5: ¿Qué variedades de maíz se utiliza para preparar bebidas fermentadas?			

Ecuaciones de búsqueda

Se emplearon tres bases de datos para llevar a cabo la búsqueda sistemática de literatura: Scopus, Web of Science y Ebsco. Scopus, reconocida por su amplio alcance, contiene más de 80 millones de registros en diversas áreas de investigación, permitiendo búsquedas rápidas y confiables. Web of Science, a su vez, es una plataforma de referencia mundial que incluye publicaciones académicas de alto impacto en diversas disciplinas. Por otro lado, Ebsco proporciona acceso en línea a una extensa colección de recursos académicos y profesionales revisados por pares, destacándose por su versatilidad y cobertura en diversas áreas de estudio.

TABLA II
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

Componente PICO		Términos	Ecuación de búsqueda para Scopus
P	Problema/ Población	fermented beverages, fermentation, fermented alcoholic beverages, craft beverages, probiotic	"fermented beverages" OR fermentation* OR "fermented alcoholic beverages" OR "craft beverages" OR

		beverages	"probiotic beverages"
C	Comparación	spray drying, lyophilization, atomization drying, evaporation drying, liquid microencapsulation, technology, process	"spray drying" OR lyophilization* OR "atomization drying" OR "evaporation drying" OR "liquid microencapsulation" OR technology* OR process*
C	Resultados	concentrated, powder, powdered beverages, fermented powder, lyophilized powder	concentrated* OR powder* OR "powdered beverages" OR "fermented powder" OR "lyophilized powder"
C	Contexto	Industry, chicha de jora, corn, malted corn, Zea mays	industry* OR "chicha de jora" OR corn* OR "malted corn" OR "Zea mays"
Ecuación general de búsqueda (TITLE-ABS-KEY("fermented beverages" OR fermentation* OR "fermented alcoholic beverages" OR "craft beverages" OR "probiotic beverages") AND TITLE-ABS-KEY ("spray drying" OR lyophilization* OR "atomization drying" OR "evaporation drying" OR "liquid microencapsulation" OR technology* OR process*) AND TITLE-ABS-KEY (concentrated* OR powder* OR "powdered beverages" OR "fermented powder" OR "lyophilized powder") AND TITLE-ABS-KEY (industry* OR "chicha de jora" OR corn* OR "malted corn" OR "Zea mays"))			

Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar la literatura relevante sobre tecnologías de transformación de bebidas fermentadas de estado líquido a polvo. El objetivo es identificar estudios que aporten información clave y descartar aquellos que no contribuyan significativamente a esta investigación. Estos criterios fueron definidos a partir de la estrategia PICO. A continuación, se detallan dichos criterios:

TABLA III
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
CI1: Artículos que se encuentren entre los periodos 2020-2025.	CE1: Excluir artículos cuyos títulos y contenidos contengan términos como "siembra", "cultivo", "estudios de suelos" o "tallo" en relación con el maíz.
CI2: Artículos que sean en idioma inglés y español.	CE2: Descartar investigaciones que no se centren en la producción de bebidas fermentadas.
CI3: Artículos que se encuentren en acceso libre y gratuito.	CE3: Excluir artículos que no se centren en métodos de transformación de bebidas fermentadas a polvo.
CI4: Investigaciones que hablen sobre el proceso de obtención de bebidas fermentadas.	
CI5: Considerar artículos que involucren sobre tecnología de conversión de bebidas fermentadas a polvo.	

Proceso de selección de estudios

En esta etapa de selección de estudios, se implementó el enfoque de metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el propósito de garantizar un análisis riguroso, transparente y replicable de la evidencia científica disponible sobre las tecnologías aplicadas en la transformación de bebidas fermentadas a su forma en polvo. La declaración PRISMA 2020 se elaboró a partir del análisis de más de 60 documentos entre manuales, guías clínicas, herramientas metodológicas y estudios de meta-investigación. En este proceso, los autores identificaron las

deficiencias más comunes en la comunicación de revisiones anteriores y propusieron mejoras significativas respecto a la versión PRISMA 2009 [22].

La primera fase del proceso consistió en la formulación de la pregunta de investigación principal y sus respectivas subpreguntas, utilizando la estrategia PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultados), específicamente PCOC, lo cual permitió construir una ecuación de búsqueda coherente y alineada con los objetivos del estudio. Esta ecuación incluyó términos técnicos relacionados con procesos como la liofilización, la atomización, la microencapsulación y otros métodos.

Posteriormente, se seleccionaron las bases de datos científicas más adecuadas para el desarrollo de la búsqueda: Scopus, Web of Science y EBSCOhost, por su reconocimiento internacional, amplitud temática y fiabilidad. Una vez establecidas las fuentes, se definieron los criterios de inclusión y exclusión, considerando aspectos como el idioma, el tipo de publicación (artículos revisados por pares, tesis académicas, informes técnicos) y su relación directa con el tema de tecnologías de transformación de bebidas fermentadas. El proceso culminó con la revisión y análisis detallado de los estudios seleccionados.

El uso del método PRISMA permite a la investigación contar con una estructura metodológica sólida que facilita la identificación de avances tecnológicos, vacíos de conocimiento y oportunidades de mejora en los procesos de secado, estabilización y conservación de bebidas fermentadas. Asimismo, su aplicación garantiza la transparencia del proceso, facilita su replicación por parte de otros investigadores y fortalece la calidad del trabajo final. Para aplicar inicialmente este enfoque, se consultaron bases de datos como Scopus, Scielo y EBSCOhost. Para ello, se empleó la ecuación de búsqueda conformada por los términos "fermented beverages", "fermentation", "fermented alcoholic beverages", "craft beverages", "probiotic beverages", "spray drying", "lyophilization", "atomization drying", "evaporation drying", "liquid microencapsulation", "technology", "process", "concentrated", "powder", "powdered beverages", "fermented powder", "lyophilized powder", "industry", "chicha de jora", "corn", "malted corn", "Zea mays".

Los términos de búsqueda se limitaron al período entre 2020 y 2025. Inicialmente, al aplicar la ecuación de búsqueda, se encontraron 2021 artículos, distribuidos en 748 en Scopus, 768 en EBSCOhost y 505 en Web of Science. De este conjunto, se eliminaron 32 artículos duplicados. Después, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se eliminaron 1957 artículos, la mayoría de los cuales fueron descartados por no cumplir con el período especificado. Después de una revisión adicional de títulos y resúmenes, se determinó que los archivos restantes cumplieran con los requisitos establecidos, por lo que no se eliminaron más artículos. Como resultado, quedaron disponibles un total de 32 artículos para su revisión.

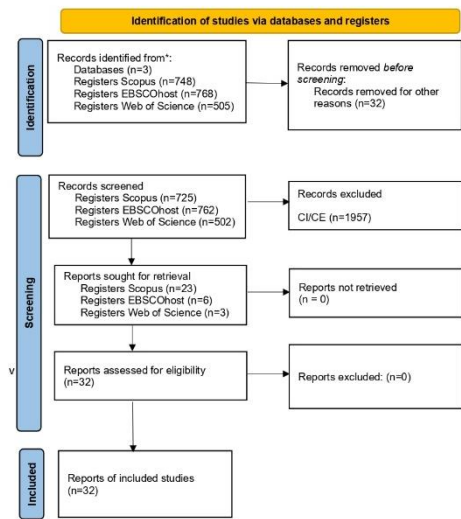


Figura 1. Diagrama Prisma

III. RESULTADOS

Los resultados se dividen en dos partes: análisis bibliométrico general y análisis de contenido basado en las preguntas de investigación.

3.1. Resultados bibliométricos de la revisión sistemática

TABLA IV
ARTÍCULOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN DE BEBIDAS FERMENTADAS DE ESTADO LÍQUIDO A POLVO: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA (2020 – 2025)

Autores	Título
FLOR C et al. (2024) [2]	Fermented Beverages from Agro-Industrial Wastes and Non-Conventional Sources
Clemencia C., et al. (2020) [1]	Changes Occurring in Spontaneous Maize Fermentation: An Overview
Chen L. et al. (2021) [4]	Offering soybean molasses adsorbed to agricultural by-products improved lactation performance through modulating plasma metabolic enzyme pool of lactating cows
Jeon, HJ et al. (2024) [3]	Aquasoya powder from the upcycled soybean cooking water can be a suitable ingredient for plant-based yoghurt alternatives
Maia P., et al. (2022) [5]	Bioactive Compounds from Pale Ale Beer Powder Attenuate Experimental Colitis in BALB/c Mice
Upadhyay R.; Dass J F.P. (2021) [6]	Physicochemical analysis, microbial survivability, and shelf life study of spray-dried synbiotic guava juice powder
de Almeida K.V. et al. (2024) [7]	Powdered water kefir: Effect of spray drying and lyophilization on physical, physicochemical, and microbiological properties
Gallardo-Rivera C., et al. (2021) [8]	Effect of Three Types of Drying on the Viability of Lactic Acid Bacteria in Foam-Mat Dried Yogurt
Ítalo F. et al. (2023) [9]	Degradabilidad y cinética ruminal in situ de dietas con ensilaje de maíz forrajero (zea mays) y residuos de banano verde (musa paradisiaca) para ovinos tropicales
Bassi D. et al. (2020) [10]	Peruvian chicha: A focus on the microbial populations of this ancient Maize-based fermented beverage

Zhong L. et al. (2023) [11]	Effect of spray-drying or freeze-drying on the physicochemical parameters, antioxidant activity, and volatile components of craft beer
Jiménez-González O.; Guerrero-Beltrán J.Á. (2022) [12]	Microencapsulates by spray of Lactocaseibacillus rhamnosus GG from fermented whole or skimmed cow's milk added with Mexican honeysuckle (Justicia spicigera) extract using mesquite gum as carrier agent
Irina G., et al. (2022) [13]	Effect of Encapsulation Processes by Freeze and Spray Drying on the Antioxidant Properties of Red Wine from cv. Listan Prieto and Syrah
Johannes D., et al. (2022) [14]	Exploring the Core Microbiota of Four Different Traditional Fermented Beverages from the Colombian Andes
Maria J., et al. (2022) [15]	Microorganisms present in artisanal fermented food from South America
Osman G., et al. (2021) [16]	Process optimization of a cereal-based fermented beverage (Boza) powder and investigating upscaling conditions.
Nubia G., et al. (2020) [17]	Evaluation of yeasts from Ecuadorian chicha by their performance as starters for alcoholic fermentations in the food industry
Edgar T., et al. (2022) [18]	Looking inside Mexican Traditional Food as Sources of Synbiotics for Developing Novel Functional Products
Bruno R., et al. (2022) [19]	Brewing of craft beer enriched with freeze-dried cape gooseberry: A promising source of antioxidants
Chuang Zhang et al. (2020) [23]	Microencapsulation of fermented noni juice via micro-fluidic-jet spray drying: Evaluation of powder properties and functionalities
Ganlu Li., et al. (2021) [24]	Microencapsulation of nattokinase from fermentation by spray drying: Optimization, comprehensive score, and stability
Segovia-Huarcaya J.J. et al. (2022) [20]	Chemical Characterization, Antioxidant, and Antihyperglycemic Capacity of Ferulated Arabinoxylan Extracted from "chicha de Jora" Bagasse: An Ancestral Fermented Beverage from Zea mays L.
Adakole M., et al. (2021) [21]	Fermented Millet "Ibyer" Beverage Enhanced with Ginger Powder: An Assessment of Microbiological, Pasting, Proximate, and Sensorial Properties
Eoin G et al. (2022) [25]	The effect of heat treatment on physicochemical properties of skim milk concentrate and spray-dried skim milk powder.
Amornrat M. et al. (2022) [26]	Factors affecting the production of synbiotic fermented milk tablets containing jerusalem artichoke powder and Lactocaseibacillus casei TISTR 1463.
FRAU-ARDON, MICHÈLE (2021) [27]	De lo sagrado a lo profano: la chicha de jora
Kovalchuk, S; Mudrak, T (2022) [28]	A resource-saving and energy-efficient technology of fermentation of wort from starch-containing raw materials for bioethanol production
Abdul-Abbas, SJ et al. (2022) [29]	Effects of mixed strains of rhizopus oryzae and lactobacillus on corn meal fermentation
Maia P. et al. (2020) [30]	Microencapsulation of a craft beer, nutritional composition, antioxidant stability, and drink acceptance
Laverdure Tchamani P, et al. (2024) [31]	Low-cost dehydrated starter production: Protective effect of maize-based carrier materials and its application in a Cameroonian maize-based traditional fermented beverage (Sha'a)

Daniel A., et al. (2024) [32]	Effect of Fermentation Time and Blending Ratio on Microbial Dynamics, Nutritional Quality and Sensory Acceptability of Shameta: A Traditional Cereal-Based Fermented Porridge for Lactating Mothers in Ethiopia
J. Vijayasanthi, et al. (2020) [33]	Recovery of proteins from coconut milk whey employing ultrafiltration and spray drying

Las investigaciones recopiladas para la RSL abarcan el período comprendido entre 2020 y 2024, seleccionadas por su relevancia en el estudio de la transformación de la chicha de jora y su aplicación como sazón en polvo. En este rango temporal, expuesto en la Figura 2, se observa un aumento en la cantidad de publicaciones hasta alcanzar el máximo de 12 artículos en 2022, seguido de una disminución a 2 publicaciones en 2023 y un ligero incremento en 2024.

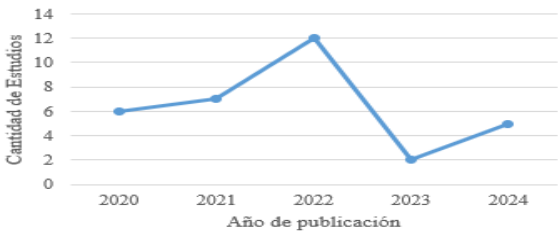


Figura 2. Distribución de temporal de artículos seleccionados

En cuanto a la distribución geográfica de las investigaciones, en la figura 3 se observa una mayor concentración de estudios en Rusia, con 4 publicaciones, seguida por Estados Unidos y México con 3 artículos cada uno. Los demás países participantes registran entre 1 y 2 investigaciones en el rango temporal de 2020 y 2024.

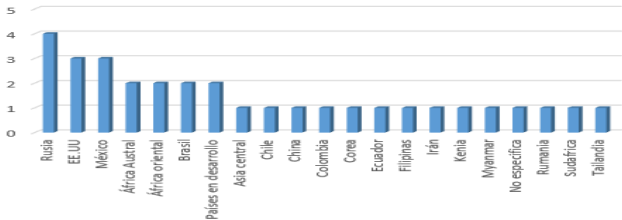


Figura 3. Artículos recopilados según el país de origen.

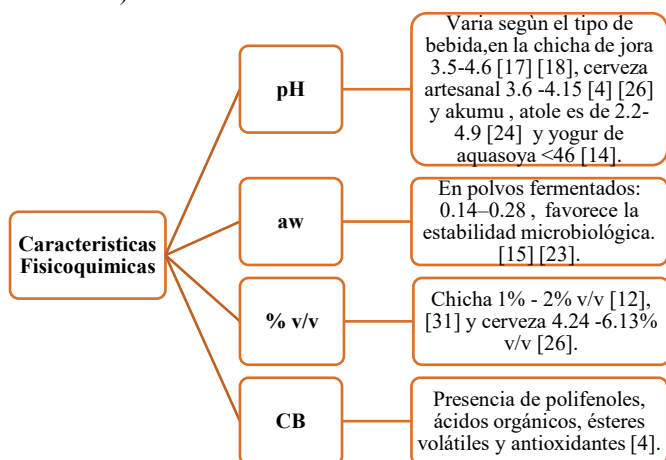
En la figura 4 se analizaron las principales palabras clave presentes en los artículos revisados, identificando “spray-drying” (secado por aspersión) como la palabra más recurrente. Este término expresa el interés de la comunidad científica por los procesos de deshidratación aplicados a productos líquidos y su transformación en polvo. En segundo lugar, destacan las palabras “probiotics” (probióticos) y “fermentation” (fermentación), que reflejan la importancia del desarrollo de alimentos funcionales a partir de procesos biotecnológicos. Asimismo, “maize” (maíz) y “prebiotics” (prebióticos) mostraron una alta presencia, lo que sugiere que varios estudios se centran en el uso de matrices vegetales como base para la elaboración de nuevos productos.



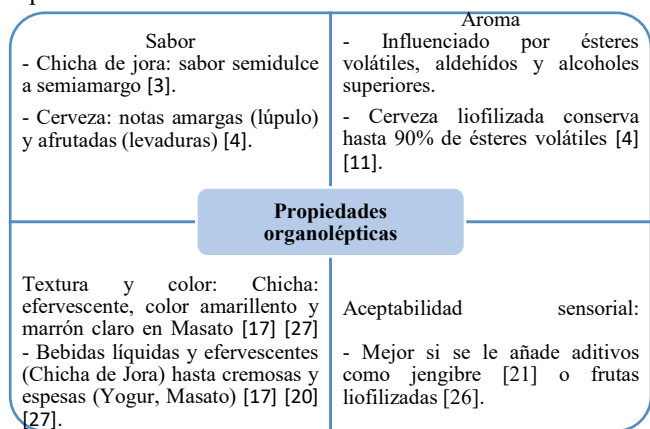
3.2. Resultados de contenido de la revisión sistemática

¿Cuáles son las características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas de las bebidas fermentadas?

Las bebidas fermentadas presentan diversidad en sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas, influenciadas por la materia prima, los microorganismos y el proceso. Entre las principales características fisicoquímicas destacan el pH (potencial de hidrógeno), la aw (actividad de agua), el % v/v (contenido alcohólico) y los CB (compuestos bioactivos).



Las propiedades organolépticas son características percibidas por los sentidos, como sabor, aroma, textura, color y aceptabilidad sensorial.



Características Microbiológicas: El microbiota es el corazón de estas bebidas, dictando tanto el proceso de fermentación como sus beneficios para la salud.

Características Microbiológicas		
Microbiota Predominante Bacterias ácido lácticas (BAL): <i>Lactobacillus</i>, <i>Leuconostoc</i>, <i>Weissella</i>, <i>Streptococcus</i>. [17]. Levaduras: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Candida</i>, <i>Pichia</i>. [12]. Hongos: <i>Rhizopus oryzae</i> [10].	Viabilidad y Supervivencia En polvos: la liofilización preserva mejor la viabilidad microbiana (>85%) que el secado por aspersión [3] [20]. Reducción de 1.5–2.6 log UFC/g en secado por aspersión [3] [30].	Otras Bacterias Pueden estar presentes y contribuir al perfil. Bacterias Acéticas (Acetobacter): En algunas fermentaciones [11]. • <i>Bacillus</i> spp.: En fermentaciones tradicionales [10] [13].

Figura 7. Características microbiológicas de las bebidas fermentadas

¿Cuál es el proceso de obtención de las bebidas fermentadas?

La producción de bebidas fermentadas abarca todo un proceso de obtención, presentado en la Figura 8.

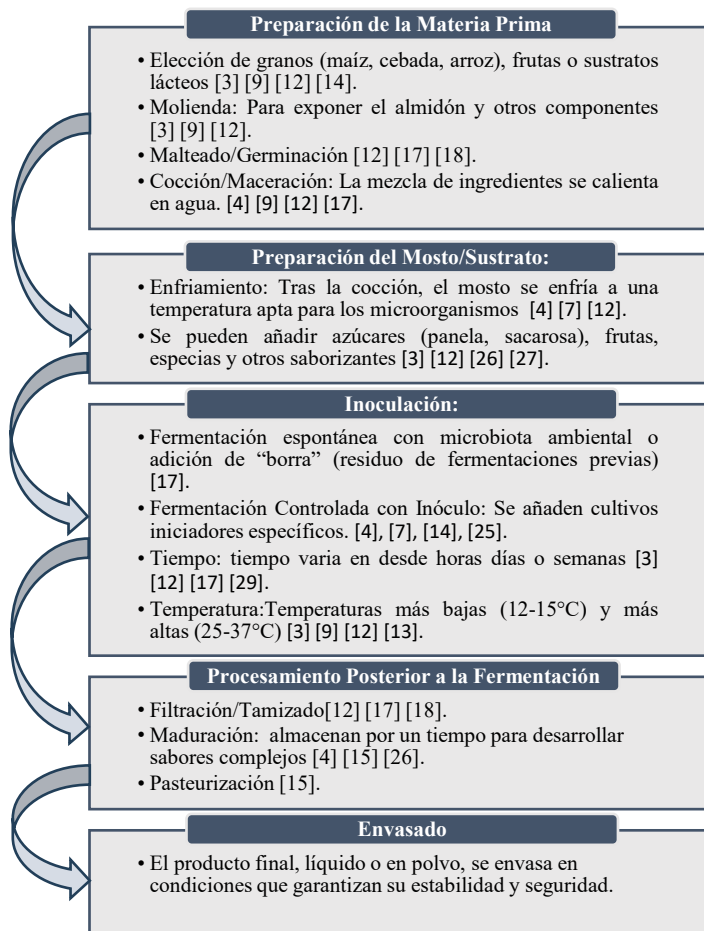


Figura 8. Proceso de obtención de las bebidas fermentadas

¿Cuáles son las tecnologías más eficientes para convertir bebidas fermentadas en polvo?

Según los estudios investigados, las tecnologías más utilizadas se muestran en la Figura 9, donde el 57% corresponde al secado por aspersión, seguido de la liofilización (24%), secado convencional (9%), y finalmente el secado al vacío y el horno ventilado, ambos con 5%.

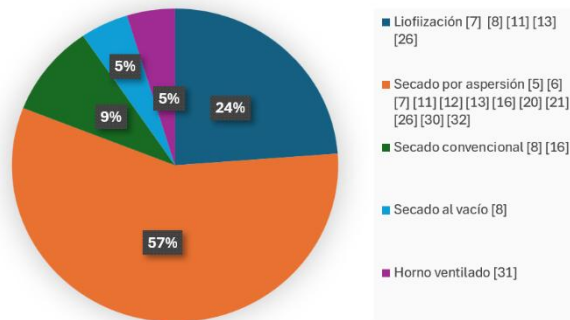


Figura 9. Porcentaje de estudios sobre tecnologías eficientes para la obtención en polvo de bebidas fermentadas

Con el fin de analizar y comparar los resultados reportados en los diferentes estudios sobre tecnologías de obtención de bebidas fermentadas en polvo, se consideraron diversas variables experimentales y de calidad del producto.

La Tabla V muestra que la liofilización y el secado por aspersión presentan mayores niveles de rendimiento en el proceso de deshidratación, aunque la liofilización implica un mayor consumo energético. En contraste, tecnologías como el secado convencional, secado al vacío y el horno ventilado muestran rendimientos medios o bajos y posibles afectaciones en la calidad del producto. Asimismo, se observa que en varios estudios no se reporta información sobre la eficiencia energética de algunos procesos, lo que limita una comparación más completa entre las tecnologías.

TABLA V
 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN EN
 RELACIÓN CON LAS VARIABLES DE PROCESO

Tecnología de deshidratación	Variables de proceso		
	Temperatura típica	Tiempo de proceso	Presión
Liofilización	Pre-congelación: -40 °C [11][11] y -8[13]. Condensador o trampas de frío: -80 °C [11] y -70 °C [13].	48 h [11]; 24 h (secado) + 48 h (congelación) [13][13].	0,09 [8]; 0,200–0,300 µHg [7]; 20 Pa [11]; 200 µm Hg [13].
Secado por aspersión	Aire de entrada: 135 °C ± 1 °C [7] y 180 °C [11]. Aire de salida: 80–100 °C [11].	Proceso rápido (continuo) [13].	Presión atmosférica [7]; 1,05 bar [12].
Secado convencional	47 °C ± 2 °C [8].	Aproximada mente 4 h [8].	–
Secado al vacío	–	–	65 mm Hg [8].
Horno ventilado	40 °C [31].	4 h [31].	–

La Tabla VI muestra que la liofilización y el secado por aspersión presentan mayores niveles de rendimiento en el proceso de deshidratación; sin embargo, la liofilización se caracteriza por un mayor consumo energético. En contraste, tecnologías como el secado convencional, el secado al vacío y el horno ventilado presentan rendimientos medios o bajos y posibles efectos negativos en la calidad del producto. Asimismo, en varios estudios no se reporta información sobre la eficiencia energética de estos últimos procesos, lo que dificulta una comparación más completa entre las tecnologías.

TABLA VI
 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN EN
 RELACIÓN CON LAS VARIABLES DE EFICIENCIA

Tecnología de deshidratación	Variables de eficiencia	
	Eficiencia energética	Rendimiento del proceso
Liofilización	Baja consumo energético) [2]	Alta; preserva calidad sensorial y nutricional, con recuperaciones de 48,9% a 85% [11] [8] [13].
Secado por aspersión	Media [5] [7] [11] [26].	Alta; rendimientos entre 70,0% y 97,5% dependiendo de las condiciones del proceso [30] [24].
Secado convencional	–	Media; rendimiento variable y posibles pérdidas nutricionales [8] [16].
Secado al vacío	–	Baja; afecta estabilidad y calidad microbiológica del producto [8].
Horno ventilado	–	Baja; puede afectar negativamente la eficiencia fermentativa y la calidad del producto [16].

La Tabla VII muestra que los valores de actividad de agua (aw) reportados para la liofilización y el secado por aspersión se encuentran en rangos bajos, lo que favorece la estabilidad y conservación del producto deshidratado. Asimismo, se observa que en los estudios revisados no se reporta información sobre esta variable fisicoquímica para el secado convencional, el secado al vacío y el horno ventilado, lo que limita la comparación entre todas las tecnologías de deshidratación.

TABLA VII
 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN EN
 RELACIÓN CON LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS

Tecnología de deshidratación	Variables fisicoquímicas
	Actividad de agua final (aw)
Liofilización	0,336 – 0,392 [7]; 0,24 ± 0,05 [13].
Secado por aspersión	0,242 – 0,371 [7]; 0,201 – 0,295 [12]; 0,17 ± 0,01 [13].
Secado convencional	–
Secado al vacío	–
Horno ventilado	–

La Tabla VIII muestra que la liofilización presenta una mayor estabilidad de compuestos bioactivos, así como altos niveles de retención fenólica y eficiencia de encapsulación, debido a la mínima degradación térmica durante el proceso. El secado por aspersión también muestra buenos resultados, aunque puede presentarse cierta degradación térmica dependiendo de las condiciones del proceso. Asimismo, se observa que en los estudios revisados no se reporta información sobre estas variables de calidad bioactiva para el secado convencional, el secado al vacío y el horno ventilado, lo que limita la comparación entre todas las tecnologías.

TABLA VIII
COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN EN RELACIÓN CON LAS VARIABLES DE CALIDAD BIOACTIVA

Tecnología de deshidratación	Variables de calidad bioactiva		
	Estabilidad de compuestos bioactivos	Nivel de retención fenólica promedio	Eficiencia de encapsulación (EE%)
Liofilización	Muy alta; mínima degradación térmica y buena preservación de microorganismos y compuestos volátiles [7] [11] [8] [13] [26].	Muy alta; incremento de trans-resveratrol hasta 357 % [13].	78 – 99,6 % [11] [13].
Secado por aspersión	Media; puede presentarse degradación térmica, aunque mantiene buena estabilidad de compuestos bioactivos en condiciones adecuadas [7] [11] [23] [26] [30] [12] [32].	Alta; hasta 97 mg/g de fenoles totales y aumento de trans-resveratrol de 152 % [30] [13].	72,0 – 85 % [11] [13].
Secado convencional	–	–	–
Secado al vacío	–	–	–
Horno ventilado	–	–	–

La Tabla IX muestra que la liofilización presenta alta viabilidad microbiana, manteniendo la supervivencia de bacterias lácticas, levaduras y bacterias acéticas, con una baja reducción del recuento microbiano. El secado por aspersión y el secado al vacío presentan una viabilidad microbiana media debido al estrés térmico y a la deshidratación durante el proceso. Por su parte, el secado convencional muestra una alta supervivencia microbiana con mínima reducción del recuento, mientras que el horno ventilado presenta una viabilidad media durante el almacenamiento, aunque en algunos estudios no se reporta información sobre la reducción del recuento microbiano.

TABLA IX
COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN EN RELACIÓN CON LAS VARIABLES MICROBIOLÓGICAS

Tecnología de deshidratación	Variables microbiológicas	
	Viabilidad microbiana	Reducción del recuento microbiano (Log CFU)
Liofilización	Alta; mantiene la viabilidad de bacterias lácticas, levaduras y bacterias acéticas, con supervivencia cercana al 93 % [7] [8].	Baja reducción: 1 – 2 Log CFU [7] [8].
Secado por aspersión	Media; afectada por estrés térmico y deshidratación durante el proceso [6] [7] [16] [24].	Reducción moderada: 1,5 – 2,62 Log CFU [7] [16] [26].
Secado convencional	Alta; supervivencia microbiana cercana al 98 % [8].	Muy baja reducción: ≈ 0,17 Log CFU [8].
Secado al vacío	Media; supervivencia aproximada del 85 % [8].	Reducción moderada: ≈ 1,5 Log CFU [8].
Horno ventilado	Media; supervivencia entre 62 – 80 % durante almacenamiento [8].	–

¿Qué bebidas fermentadas han logrado ser pulverizadas con éxito?

Diversos estudios han demostrado que varias bebidas fermentadas han podido ser pulverizadas con éxito. Entre ellas se encuentra el kéfir de agua [7], que ha mostrado una adecuada conservación microbiana tras su transformación en polvo. La cerveza artesanal [11] [5] [30], es una de las bebidas más estudiadas, logrando obtener polvos con buena estabilidad nutricional y sensorial. De igual forma, la leche fermentada simbiótica [26] y la leche fermentada con probióticos [12] han sido secadas exitosamente, manteniendo una importante viabilidad microbiana. El yogur espumado [8] también ha sido pulverizado con resultados favorables, obteniéndose polvos con buena estructura y adecuada supervivencia de bacterias ácido-lácticas. Entre las bebidas frutales, el jugo de guayaba fermentado [6] y el jugo de noni fermentado [23] han mostrado buenos rendimientos y estabilidad de compuestos bioactivos.

En el caso de los productos vínicos, tanto el Vino Listán Prieto como el Vino Syrah [13] han sido pulverizados con éxito, destacándose la retención de compuestos antioxidantes. Asimismo, bebidas tradicionales como Sha'a [31] y boza [16] han mostrado una buena estabilidad funcional tras su secado. Finalmente, incluso productos más especializados, como la nattoquinasa de fermentación [24], han logrado ser transformados en polvo manteniendo su actividad biológica.

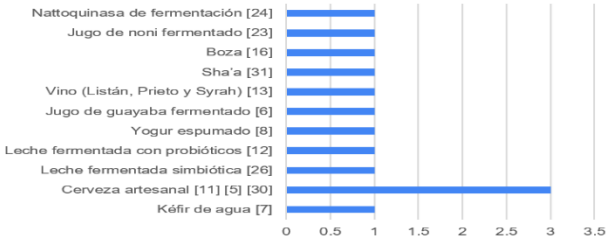


Figura 10. Número de estudios sobre bebidas fermentadas que han sido pulverizadas con éxito

¿Qué variedades de maíz se utiliza para preparar bebidas fermentadas?

Existen diversas variedades y cruzamientos de maíz utilizados en la elaboración de bebidas fermentadas, cuya selección varía según la región donde se cultiva. A partir de las fuentes recolectadas, se identificaron las siguientes variedades de maíz: amarillo, blanco, negro, chulpi y morocho. Zea mays es la denominación científica del maíz, de la cual derivan estas variedades mencionadas. En este contexto, el análisis de las diferentes fuentes revela que las variedades de maíz más utilizadas son el amarillo y el blanco. Estas se emplean con mayor frecuencia en la preparación de bebidas tradicionales fermentadas como el akamu, atole agrio, busaa, champú, chicha, doklu, gowé, ilambazi lokubilisa, ikii, kokoro, masa agria, entre otras [1]. De manera más específica, el maíz amarillo y blanco se destacan como los ingredientes principales en la elaboración de bebidas fermentadas tradicionales de la región andina colombiana, tales como la chicha, la forcha, el champú y el masato [2]. Por otra parte, el pozol es una bebida fermentada ácida, no alcohólica y de origen natural de Tabasco, México. Se obtiene a partir de maíz amarillo nixtamalizado y es consumido principalmente con fines ceremoniales [14]. Igualmente, la chicha de Yamor se considera una de las bebidas fermentadas andinas más antiguas de Sudamérica. Esta se elabora con siete variedades de maíz: jora, amarillo, blanco, negro, chulpi, morocho y maíz para popcorn, y se consume durante eventos religiosos, agrícolas y sociales [17]. Aunque la mayoría de las investigaciones coinciden en el uso predominante del maíz blanco y amarillo, según [10], el maíz morocho es el principal grano empleado en la elaboración de la chicha de jora peruana, la chicha de mandioca en Ecuador, así como en variantes de chicha de maíz en Brasil y el noroeste argentino. No obstante, en estos casos también pueden incluirse otras variedades de maíz.

Es importante señalar que seis estudios no especificaron la variedad de maíz utilizada en la elaboración de bebidas fermentadas, por lo que se optó por clasificarlas simplemente como Zea mays. Esto se debe a que el maíz es un cultivo altamente diverso, con una notable variabilidad genética en distintas partes del mundo. Además, se han desarrollado numerosos híbridos a partir de cruzamientos, lo cual dificulta la identificación precisa de una variedad específica [9]. A partir de estos cruzamientos, es posible elaborar diversas bebidas fermentadas como el pozol, tejuino y atole agrio en México [18], así como el vino, la cerveza, la chicha y la kombucha en Colombia [29]. En la Tabla X, se muestra un resumen de las variedades de maíz para la preparación de bebidas fermentadas utilizadas en los artículos seleccionados

TABLA X
VARIEDADES DE MAÍZ UTILIZADAS PARA LA PREPARACIÓN DE
BEBIDAS FERMENTADAS INCLUIDAS EN LA REVISIÓN
SISTEMÁTICA.

Variedades de maíz	Cantidad de estudios
Zea mays [4] [9] [29] [31] [18] [32]	6
Maíz amarillo [2] [1] [14]	3
Maíz blanco [17] [1] [31]	3

Maíz negro [17]	1
Maíz chulpi [17]	1
Maíz morocho [10]	2

IV. DISCUSIÓN

En la presente revisión se identificó que las tecnologías de deshidratación aplicadas a bebidas fermentadas presentan diferencias significativas en términos de eficiencia energética, estabilidad de compuestos bioactivos y calidad final del producto. En particular, el secado por aspersión destaca por ofrecer una eficiencia energética media y altos rendimientos del proceso, entre 70% y 97,5% [2],[3],[6], lo que lo posiciona como una alternativa viable para la producción industrial de chicha de jora en polvo. Asimismo, se observó que este método permite mantener una alta estabilidad de los compuestos bioactivos, alcanzando retenciones de hasta 97 mg/g de fenoles totales y niveles de encapsulación entre 72,0% y 85%, especialmente cuando se emplean materiales encapsulantes adecuados [3], [15], [22].

Estos resultados contrastan con la liofilización, que presenta una eficiencia energética baja debido a su alto consumo energético [2],[3], pero logra una mayor preservación de la calidad sensorial, nutricional y funcional [3],[19], [22]. Por otro lado, en términos fisicoquímicos, la liofilización alcanza valores de actividad de agua entre 0,336 aw y 0,392 aw, lo que favorece la estabilidad del producto [22]. Además, este método permite una alta estabilidad de compuestos bioactivos, con mínimas pérdidas por degradación térmica y eficiencias de encapsulación entre 78% y 99,6%, así como incrementos en compuestos fenólicos y antioxidantes [3].

En cuanto a la estabilidad microbiológica, los hallazgos evidencian que la liofilización mantiene una alta viabilidad microbiana, cercana al 93%, mientras que el secado por aspersión genera reducciones moderadas entre 1,5 y 2,62 Log CFU, debido al estrés térmico y de deshidratación [19]. Sin embargo, estos niveles siguen siendo aceptables dependiendo del objetivo del producto final, especialmente si se prioriza la estabilidad y vida útil sobre la funcionalidad probiótica.

Por otro lado, tecnologías como el secado convencional, horno ventilado y secado al vacío presentan limitaciones importantes. Si bien pueden mostrar cierta viabilidad microbiana entre 62% y 85%, su impacto negativo en la calidad nutricional, estabilidad microbiológica y los compuestos bioactivos los hace menos adecuados para aplicaciones que buscan preservar las propiedades funcionales de bebidas fermentadas como la chicha de jora [19]. Asimismo, un aspecto relevante identificado es que, aunque la liofilización ofrece mejores resultados en términos de calidad, su alto costo energético limita su aplicación a gran escala [2],[3]. En contraste, el secado por aspersión, pese a sus limitaciones en la preservación de compuestos sensibles, representa un equilibrio adecuado entre costo, eficiencia y rendimiento, lo que explica su mayor uso a nivel industrial [15], [32].

No obstante, el análisis también evidencia una limitación importante en la literatura, puesto que la mayoría de los estudios se concentran en matrices como lácteos y bebidas fermentadas como cerveza o kéfir, mientras que productos tradicionales como la chicha de jora presentan escasa evidencia científica. Asimismo, se observa que no existe suficiente información sobre algunas tecnologías de transformación, lo que limita una comparación integral entre métodos y su aplicabilidad en distintas matrices. Esto restringe la generalización directa de los resultados y resalta la necesidad de investigaciones específicas que evalúen el comportamiento de esta matriz frente a diferentes tecnologías de secado.

V. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática permitió analizar las características, procesos y tecnologías utilizadas para transformar bebidas fermentadas de estado líquido a polvo. Se identificó que estas bebidas presentan diversas propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas, influenciadas principalmente por la materia prima, los microorganismos responsables de la fermentación y las condiciones del proceso. Entre las variables fisicoquímicas más relevantes destacan el pH, la actividad de agua (aw), el contenido alcohólico y los compuestos bioactivos, los cuales influyen en la estabilidad, calidad y valor funcional del producto. Asimismo, atributos sensoriales como sabor, aroma, textura y color son determinantes para la aceptación del consumidor, mientras que la microbiota juega un papel clave en la formación de compuestos bioactivos y en los posibles beneficios para la salud.

En cuanto a las tecnologías de deshidratación, el secado por aspersión y la liofilización se identificaron como los métodos más utilizados y eficientes para la obtención de bebidas fermentadas en polvo. La liofilización destaca por preservar mejor la calidad sensorial, nutricional y microbiológica, aunque su aplicación industrial se ve limitada por su alto consumo energético. Por su parte, el secado por aspersión ofrece altos rendimientos y una eficiencia energética moderada, lo que lo convierte en una alternativa más viable para la producción a gran escala.

Finalmente, se evidenció que diversas bebidas fermentadas, como kéfir de agua, cerveza artesanal, leches fermentadas, yogur, jugos fermentados y vinos, han sido transformadas exitosamente en polvo. Sin embargo, aún existe limitada investigación sobre bebidas tradicionales elaboradas a partir de maíz, como la chicha de jora. Por ello, se requieren más estudios que evalúen la aplicación de tecnologías de secado en estas matrices, con el fin de optimizar su estabilidad y contribuir a su valorización. Asimismo, la literatura disponible sobre algunas tecnologías de deshidratación aún es limitada.

REFERENCIAS

- [1] C. Chaves-López, C. Rossi, F. Maggio, A. Paparella, and A. Serio, "Changes Occurring in Spontaneous Maize Fermentation: An Overview," Mar. 23, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/FERMENTATION6010036.
- [2] F. E. Calderón-Martínez, R. F. González-Laredo, J. L. González-Escobar, M. Nicolás-García, D. B. Muñoz-Márque, and F. Veana, "Fermented Beverages from Agro-Industrial Wastes and Non-Conventional Sources," in *Biosystems Engineering Applications for Quality Food Production*, New York: Apple Academic Press, 2024, pp. 157–216. doi: 10.1201/9781003492559-8.
- [3] H. J. Jeon, W. S. Shin, and E. Echeverria-Jaramillo, "Aquasoya powder from the upcycled soybean cooking water can be a suitable ingredient for plant-based yoghurt alternatives," *Int J Food Sci Technol*, vol. 59, no. 9, pp. 6130–6149, Sep. 2024, doi: 10.1111/ijfs.17346.
- [4] L. Chen *et al.*, "Offering soybean molasses adsorbed to agricultural by-products improved lactation performance through modulating plasma metabolic enzyme pool of lactating cows," *Food Sci Nutr*, vol. 9, no. 12, pp. 6447–6457, Dec. 2021, doi: 10.1002/fsn3.2504.
- [5] P. D. D. S. Maia *et al.*, "Bioactive Compounds from Pale Ale Beer Powder Attenuate Experimental Colitis in BALB/c Mice," *Molecules*, vol. 27, no. 4, Feb. 2022, doi: 10.3390/molecules27041194.
- [6] R. Upadhyay and F. P. Dass J, "Physicochemical analysis, microbial survivability, and shelf life study of spray-dried synbiotic guava juice powder," *J Food Process Preserv*, vol. 45, no. 2, Feb. 2021, doi: 10.1111/jfpp.15103.
- [7] K. V. de Almeida *et al.*, "Powdered water kefir: Effect of spray drying and lyophilization on physical, physicochemical, and microbiological properties," *Food Chemistry Advances*, vol. 5, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.focha.2024.100759.
- [8] C. Gallardo-Rivera *et al.*, "Effect of three types of drying on the viability of lactic acid bacteria in foam-mat dried yogurt," *Processes*, vol. 9, no. 12, Dec. 2021, doi: 10.3390/pr9122123.
- [9] "Espinoza, Ítalo & Barrera, Alexandra & Sánchez, Adolfo & Pincay, Kerly & Garcia, Anton & Barba, Cecilio. (2023). Degradabilidad y cinética ruminal in situ de dietas con ensilaje de maíz forrajero (Zea mays) y residuos de banano verde (Musa paradisiaca) para ovinos tropicales. Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS. 5. 254-264. 10.59169/pentaciencias.v5i7.935."
- [10] D. Bassi, L. Orrù, J. C. Vasquez, P. S. Cocconcetti, and C. Fontana, "Peruvian chicha: A focus on the microbial populations of this ancient Maize-based fermented beverage," *Microorganisms*, vol. 8, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.3390/microorganisms8010093.
- [11] L. Zhong *et al.*, "Effect of spray-drying or freeze-drying on the physicochemical parameters, antioxidant activity, and volatile components of craft beer," *Int J Food Sci Technol*, vol. 58, no. 12, pp. 6222–6233, Dec. 2023, doi: 10.1111/ijfs.16702.
- [12] O. Jiménez-González and J. Á. Guerrero-Beltrán, "Microencapsulates by spray of Lacticaseibacillus rhamnosus GG from fermented whole or skimmed cow's milk added

with Mexican honeysuckle (*Justicia spicigera*) extract using mesquite gum as carrier agent,” *Heliyon*, vol. 8, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10733.

- [13] I. Díaz-Gálvez, G. Gutiérrez-Gamboa, A. Plaza, and A. A. Concha-Meyer, “Effect of Encapsulation Processes by Freeze and Spray Drying on the Antioxidant Properties of Red Wine from cv. Listan Prieto and Syrah,” *Foods*, vol. 11, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/foods11233880.
- [14] J. Delgado-Ospina *et al.*, “Exploring the Core Microbiota of Four Different Traditional Fermented Beverages from the Colombian Andes,” *Fermentation*, vol. 8, no. 12, Dec. 2022, doi: 10.3390/fermentation8120733.
- [15] M. E. Jimenez, C. M. O’Donovan, M. F. de Ullivarri, and P. D. Cotter, “Microorganisms present in artisanal fermented food from South America,” Sep. 08, 2022, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fmicb.2022.941866.
- [16] O. Gül, İ. Atalar, F. Törnük, and A. Akgün, “Process optimization of a cereal-based fermented beverage (Boza) powder and investigating upscaling conditions,” *J Food Process Eng.*, vol. 46, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.1111/jfpe.14248.
- [17] N. Grijalva-Vallejos, A. Aranda, and E. Matallana, “Evaluation of yeasts from Ecuadorian chicha by their performance as starters for alcoholic fermentations in the food industry,” *Int J Food Microbiol.*, vol. 317, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jfoodmicro.2019.108462.
- [18] E. Torres-Maravilla, V. Méndez-Trujillo, N. C. Hernández-Delgado, L. G. Bermúdez-Humarán, and D. Reyes-Pavón, “Looking inside Mexican Traditional Food as Sources of Synbiotics for Developing Novel Functional Products,” Mar. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/fermentation8030123.
- [19] B. J. D. Rinaldi, P. F. Montanher, and G. Johann, “Brewing of craft beer enriched with freeze-dried cape gooseberry: A promising source of antioxidants,” *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 25, 2022, doi: 10.1590/1981-6723.01922.
- [20] C. Zhang, S. L. Ada Khoo, X. D. Chen, and S. Y. Quek, “Microencapsulation of fermented noni juice via micro-fluidic-jet spray drying: Evaluation of powder properties and functionalities,” *Powder Technol.*, vol. 361, pp. 995–1005, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2019.10.098.
- [21] G. Li *et al.*, “Microencapsulation of nattokinase from fermentation by spray drying: Optimization, comprehensive score, and stability,” *Food Sci Nutr.*, vol. 9, no. 7, pp. 3906–3916, Jul. 2021, doi: 10.1002/fsn3.2378.
- [22] J. J. Segovia-Huarcaya *et al.*, “Chemical Characterization, Antioxidant, and Antihyperglycemic Capacity of Ferulated Arabinoxylan Extracted from ‘chicha de Jora’ Bagasse: An Ancestral Fermented Beverage from Zea mays L.,” *J Food Qual.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/4015886.
- [23] M. I. Adakole *et al.*, “Fermented millet ‘Ibyer’ beverage enhanced with ginger powder: An assessment of microbiological, pasting, proximate, and sensorial properties,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 7, Apr. 2021, doi: 10.3390/app11073151.
- [24] M. J. Page *et al.*, “The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews,” Mar. 29, 2021, *BMJ Publishing Group*. doi: 10.1136/bmj.n71.
- [25] A. Bista, E. G. Murphy, C. P. O’Donnell, and N. O’Shea, “The effect of heat treatment on physicochemical properties of skim milk concentrate and spray-dried skim milk powder,” *Int J Dairy Technol.*, vol. 75, no. 3, pp. 690–700, Aug. 2022, doi: 10.1111/1471-0307.12876.
- [26] A. Mukprasirt, V. Domrongpakkaphan, L. Kaewpanya, M. Khemkhao, and N. Sumonsiri, “Factors affecting the production of synbiotic fermented milk tablets containing jerusalem artichoke powder and Lactaseibacillus casei TISTR 1463,” *J Food Process Preserv.*, vol. 46, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.1111/jfpp.16153.
- [27] “Frau-Ardon, M. (2021). De lo sagrado a lo profano: la chicha de jora. Trama y Fondo: Revista de Cultura, 50, 51–62.”.
- [28] S. Kovalchuk and T. Mudrak, “A RESOURCE-SAVING AND ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF FERMENTATION OF WORT FROM STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS FOR BIOTHEANOL PRODUCTION,” *Food Science and Technology*, vol. 16, no. 1, Mar. 2022, doi: 10.15673/fst.v16i1.2293.
- [29] S. J. Abdul-Abbas *et al.*, “Effects of mixed strains of rhizopus oryzae and lactobacillus on corn meal fermentation,” *Food Science and Technology (Brazil)*, vol. 42, 2022, doi: 10.1590/fst.73621.
- [30] P. D. D. S. Maia *et al.*, “Microencapsulation of a craft beer, nutritional composition, antioxidant stability, and drink acceptance,” *LWT*, vol. 133, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110104.
- [31] L. Tchamani Piamé, P. M. Kaktcham, E. M. Foko Kouam, U. D. Fotso Techeu, R. J. Ngouenam, and F. Zambou Ngoufack, “Low-cost dehydrated starter production: Protective effect of maize-based carrier materials and its application in a Cameroonian maize-based traditional fermented beverage (Sha’a),” *J Agric Food Res.*, vol. 15, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100942.
- [32] D. A. Kitessa, K. Bacha, Y. B. Tola, and M. Murimi, “Effect of Fermentation Time and Blending Ratio on Microbial Dynamics, Nutritional Quality and Sensory Acceptability of Shameta: A Traditional Cereal-Based Fermented Porridge for Lactating Mothers in Ethiopia,” *Fermentation*, vol. 10, no. 3, Mar. 2024, doi: 10.3390/fermentation10030118.
- [33] J. Vijayasanthi, S. R. Adsare, A. G. Lamdande, A. Naik, K. S. M. S. Raghavarao, and G. Prabhakar, “Recovery of proteins from coconut milk whey employing ultrafiltration and spray drying,” *J Food Sci Technol.*, vol. 57, no. 1, pp. 22–31, Jan. 2020, doi: 10.1007/s13197-019-04025-9.