



ID del documento: IIJ-Vol.3.N.2.023.2025

Tipo de artículo: Revisión

Aplicación de Tecnologías de Encapsulación en la Conservación de Compuestos Bioactivos en Alimentos Funcionales

Application of Encapsulation Technologies in the Preservation of Bioactive Compounds in Functional Foods

Autores:

Roger Audes Baltazar Flores¹, Padilla Sevillano Alejandro Wilber², Manuel Enrique Neciosup Prieto³

¹Universidad Nacional Ciro Alegría, Huamchuco, Perú baltazarfloresrogeraudes@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-8134-5654>

²Universidad Nacional de Trujillo, Perú, apadilla@unitru.edu.pe , <https://orcid.org/0000-0003-4764-4068>

³Universidad Nacional Ciro Alegría, Huamchuco, Perú, manuelenecp30@gmail.com ,
<https://orcid.org/0000-0001-5967-0381>

Corresponding Author: Baltazar Flores Roger Audes, baltazarfloresrogeraudes@gmail.com

Reception date: 12-jul-2025

Acceptance: 27-jul-2025

Publication: 10-ago-2025

How to cite this article:

Baltazar Flores, R. A. ., Padilla Sevillano , A. W., & Neciosup Prieto, M. E. . (2025). Aplicación de Tecnologías de Encapsulación en la Conservación de Compuestos Bioactivos en Alimentos Funcionales. Innovarium International Journal, 3(2), 1-16. <https://revinde.org/index.php/innovarium/article/view/76>



Resumen

La encapsulación de compuestos bioactivos se ha convertido en una estrategia innovadora y efectiva para la conservación de nutrientes sensibles presentes en alimentos funcionales. Técnicas como la microencapsulación y la nanoencapsulación permiten proteger moléculas como polifenoles, antioxidantes y vitaminas frente a condiciones adversas durante el procesamiento y almacenamiento, asegurando su estabilidad y biodisponibilidad. Este artículo de revisión analiza estudios recientes enfocados en matrices alimentarias como yogures, jugos, barras nutricionales y productos en polvo, destacando los beneficios de diferentes materiales y métodos encapsulantes. Los resultados revisados muestran que la encapsulación mejora la vida útil de los productos, optimiza la liberación controlada de los compuestos y potencia sus efectos fisiológicos en el organismo. Asimismo, se identifican los desafíos actuales, como la escalabilidad de los procesos y los costos de producción, y se proponen líneas futuras de investigación orientadas a la sostenibilidad y eficiencia industrial. Esta revisión busca ofrecer una visión integral que sirva como base para investigadores, tecnólogos y la industria alimentaria en el desarrollo de alimentos funcionales más estables, seguros y con mayor valor agregado.

Palabras clave: encapsulación; compuestos bioactivos; alimentos funcionales; microencapsulación; nanoencapsulación

Abstract

The encapsulation of bioactive compounds has emerged as an innovative and effective strategy for preserving sensitive nutrients in functional foods. Techniques such as microencapsulation and nanoencapsulation protect molecules like polyphenols, antioxidants, and vitamins from adverse conditions during processing and storage, ensuring their stability and bioavailability. This review article analyzes recent studies focused on food matrices such as yogurts, juices, nutritional bars, and powdered products, highlighting the benefits of different encapsulating materials and methods. The reviewed results show that encapsulation improves product shelf life, optimizes controlled release of compounds, and enhances their physiological effects in the human body. Additionally, current challenges such as process scalability and production costs are identified, and future research lines aimed at sustainability and industrial efficiency are proposed. This review aims to provide a comprehensive overview to support researchers, technologists, and the food industry in developing more stable, safe, and value-added functional foods.

Keywords: encapsulation; bioactive compounds; functional foods; microencapsulation; nanoencapsulation

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria alimentaria ha mostrado un notable interés por el desarrollo de alimentos funcionales enriquecidos con compuestos bioactivos como polifenoles, antioxidantes y vitaminas, cuya estabilidad y biodisponibilidad pueden verse comprometidas durante el procesamiento y almacenamiento. Las tecnologías de encapsulación, como la microencapsulación y la nanoencapsulación, representan estrategias prometedoras para enfrentar estos desafíos.

En Latinoamérica, los sistemas de encapsulación han sido aplicados con éxito para preservar compuestos antioxidantes tradicionales, como los presentes en la yerba mate (*Ilex paraguariensis*). López, Deladino, Navarro y Martino (2012), por ejemplo, utilizaron matrices de alginato (Ca-alginato) para encapsular extractos de yerba mate, observando mejoras notables en la eficiencia de retención del compuesto activo y control de liberación en medios simulados gastrointestinales.

De manera similar, González, Navarro y López (2023) desarrollaron sistemas capaces de encapsular simultáneamente compuestos hidrofílicos (como antioxidantes de yerba mate) y lipofílicos (como vitamina D) en matrices complejas de alginato, pectina, almidón y mucílago de semilla de lino. Estos sistemas mostraron un alto potencial para proteger y liberar bioactivos, tanto en suplementos como en ingredientes funcionales.

Otro ejemplo que destaca en la región es la microencapsulación del arazá (*Eugenia stipitata*), una fruta amazónica. Un estudio reciente empleó secado por atomización para encapsular sus compuestos bioactivos, consiguiendo incrementar la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante en más de 6 veces en el polvo resultante.

En Argentina, Castagnini et al. (2019) investigaron la microencapsulación de antocianinas provenientes de subproductos de arándanos mediante liofilización, utilizando maltodextrina, almidón modificado y proteína de suero. La mejor formulación resultó ser una mezcla 70:30 de suero lácteo y maltodextrina, con mejoras tanto en la eficiencia de encapsulación como en la capacidad de liberar el compuesto activo en regiones específicas del tracto digestivo.

En el ámbito de la nanoencapsulación, Jacob-Lopes, Ramírez-Mérida y colaboradores (2023) revisaron el potencial de las microalgas como fuente de compuestos bioactivos (polisacáridos, polifenoles, carotenoides), proponiendo la nanoencapsulación como una vía para mejorar su estabilidad química y su actividad biológica en alimentos funcionales.

A nivel más conceptual, la nanoencapsulación se postula como una herramienta innovadora para fortalecer productos funcionales en Latinoamérica. En particular, en el mercado mexicano ya se están utilizando nanoencapsulaciones para enriquecer bebidas lácteas y vegetales con vitaminas liposolubles, ácidos grasos Omega-3 y probióticos, desarrollando sistemas que permiten liberación controlada y mejor resistencia al procesamiento térmico.

En conjunto, estas investigaciones latinoamericanas reflejan la eficacia de tecnologías de micro- y nanoencapsulación en distintas matrices (yerba mate, cacao, arazá, antocianinas, leche, suplementos), subrayando su papel clave para proteger compuestos sensibles y potenciar su funcionalidad en productos reales.

Por tanto, revisar y sintetizar los avances en encapsulación de compuestos bioactivos en alimentos funcionales —especialmente desde la perspectiva latinoamericana— ofrece una perspectiva rica y contextualizada, que puede orientar futuros desarrollos tecnológicos regionales.

Este artículo de revisión busca, por tanto, analizar críticamente dichas técnicas y sus aplicaciones en diversas matrices (yogures, jugos, barras nutricionales, productos en polvo), evaluando su eficacia para conservar polifenoles, antioxidantes y vitaminas durante la manipulación y almacenamiento, con miras a promover alimentos funcionales más seguros y efectivos.

2. DESARROLLO

La encapsulación de compuestos bioactivos en alimentos funcionales se entiende como el atrapamiento de moléculas sensibles dentro de una matriz o pared que actúa como barrera frente a factores de deterioro (oxígeno, luz, humedad, pH) y controla su liberación en el sitio de acción. En América Latina, diversos grupos han documentado su utilidad para estabilizar extractos fenólicos y antioxidantes provenientes de subproductos agroindustriales, destacando que el tipo de material de pared, tamaño de partícula y ruta de secado determinan la retención y la bioaccesibilidad final del activo (Castromonte, Wacyk & Valenzuela, 2020; Pereira et al., 2018).

Las técnicas más empleadas en alimentos incluyen el secado por atomización (spray drying), la coacervación simple o compleja, la gelificación iónica y, en escalas menores, la nanoencapsulación mediante nanoemulsiones o nanocápsulas poliméricas. El secado por atomización se ha consolidado por su costo-efectividad y escalabilidad industrial, con eficiencias de encapsulación altas cuando se usan portadores como maltodextrina, goma arábica o combinaciones con biopolímeros (Pereira et al., 2018; Castromonte et al., 2020).

Los materiales de pared más difundidos en la región son polisacáridos (maltodextrina, alginato, pectina, goma arábica) y biopolímeros cargados como quitosano, por su estatus regulatorio favorable y capacidad para formar matrices vítreas o redes iónicas. La maltodextrina, en particular, eleva la temperatura de transición vítrea del sistema y reduce pegajosidad y aglomeración durante el atomizado, mejorando el rendimiento y la estabilidad oxidativa de los polifenoles (Castromonte et al., 2020; Díaz-Martínez et al., 2016).

En matrices reales, se ha demostrado que encapsular jugos o extractos frutales ricos en compuestos fenólicos mediante secado por atomización prolonga la estabilidad de la capacidad antioxidante y disminuye la pérdida de polifenoles durante almacenamiento. En pitahaya amarilla, por ejemplo, el uso de maltodextrina como agente de pared y condiciones térmicas optimizadas extendió marcadamente la vida útil del poder antioxidante y orientó la liberación hacia el intestino delgado (Castromonte et al., 2020; Serna-Jiménez et al., 2017).

La encapsulación también es estratégica en lácteos fermentados. En yogur saborizado con frutos andinos, se ha observado que mantener viables las bacterias probióticas y la actividad antioxidante depende de la microestructura y del microambiente acuoso; sistemas de encapsulación pueden amortiguar fluctuaciones de pH y oxígeno, y modular textura y

aceptación sensorial sin penalizar la funcionalidad (Zapata, Sepúlveda-Valencia & Rojano, 2015; González-Cuello, Ortega-Torres & Meléndez-González, 2014).

Desde el punto de vista fisicoquímico, el desempeño de las micro y nanoestructuras se explica por la reducción de difusividad de oxígeno y agua a través de matrices vítreas o redes poliméricas, por la inmovilización del activo y, en nanoescala, por el alto cociente área/volumen que permite diseñar cinéticas de liberación específicas (Pereira et al., 2018). El control de tamaño de partícula (micro vs. nano), la distribución y la carga superficial (potencial zeta) condicionan estabilidad coloidal, sedimentación y compatibilidad con la matriz alimentaria (Pereira et al., 2018; Ojeda, Arias Gorman & Sgroppo, 2019).

La nanoencapsulación introduce ventajas adicionales: mejora de solubilidad de compuestos hidrofóbicos, mayor protección frente a fotodegradación y posibilidad de liberación sensible a estímulos (pH, enzimas gastrointestinales). En América Latina, revisiones recientes describen nanoemulsiones y nanocompuestos como vehículos viables en alimentos, subrayando el potencial para fortificar bebidas, lácteos y snacks con dosis más bajas pero más biodisponibles de vitaminas y polifenoles (Ojeda et al., 2019).

Para evaluar la eficacia tecnológica, la literatura regional utiliza métricas como eficiencia de encapsulación, rendimiento, distribución de tamaño, morfología (MEV), potencial zeta, humedad y Tg, junto con la retención de compuestos marcadores (fenoles totales, antocianinas) y ensayos antioxidantes (DPPH, ABTS, FRAP, ORAC). En matrices finales, se incorporan pruebas de vida útil y digestión in vitro para estimar bioaccesibilidad y liberación controlada (Zapata et al., 2015; Castromonte et al., 2020; Pereira et al., 2018).

Desde la perspectiva regulatoria y de inocuidad, se priorizan biopolímeros con historial de uso seguro (p. ej., alginato, pectina, maltodextrina, quitosano). En la región, se discute su incorporación como “ingredientes funcionales” o “aditivos tecnológicos”, enfatizando etiquetado claro y evaluación toxicológica cuando se trata de nanoestructuras (Amaya-Párraga & Adarme-Jaimes, 2023; Castromonte et al., 2020).

Finalmente, el campo avanza hacia formulaciones “clean label”, combinaciones de paredes de origen vegetal, valorización de subproductos (cáscaras y bagazos) como fuentes de bioactivos, y escalamiento sostenible con menor consumo energético. Las revisiones latinoamericanas coinciden en que la encapsulación –micro y nano– es una herramienta transversal para estabilizar polifenoles, antioxidantes y vitaminas en yogures, jugos, barras y polvos, siempre que se seleccionen de manera racional la técnica, el material de pared y las condiciones de proceso (Castromonte et al., 2020; Pereira et al., 2018; González-Cuello et al., 2014).

3. METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Este artículo de revisión empleará un enfoque metodológico cualitativo y descriptivo, mediante la búsqueda sistemática y análisis crítico de literatura científica latinoamericana centrada en tecnologías de encapsulación (micro y nano) aplicadas a la conservación de compuestos bioactivos en alimentos funcionales. Nuestro objetivo es sintetizar y comparar evidencias sobre eficacias tecnológicas, matrices alimentarias, y características de liberación de compuestos.



Criterios de inclusión y exclusión

Incluirá artículos publicados en revistas indexadas (SciELO, Redalyc, BjFT, Información Tecnológica, Mundo Nano, entre otras) entre 2010 y 2025, escritos por autores latinoamericanos o grupos de investigación de la región. Se excluirán fuentes no revisadas por pares, estudios no enfocados en encapsulación de compuestos bioactivos, o trabajos sin datos cuantitativos sobre eficiencia, retención o liberación.

Fuentes y estrategias de búsqueda

Se consultarán bases como SciELO, Redalyc, Scopus (para revistas latinoamericanas indexadas), y portales específicos como Mundo Nano (UNAM). Las búsquedas utilizarán combinaciones como “microencapsulación compuestos bioactivos Latinoamérica”, “nanoencapsulación alimentos funcionales”, “spray drying polifenoles”, “encapsulation yogurt probióticos”, asegurando palabras clave en español y en inglés cuando corresponda.

Selección de estudios

Dos revisores independientes examinarán títulos y resúmenes, seleccionando estudios que cumplan con los criterios. Luego, se leerán los textos completos para verificar que incluyan datos empíricos sobre eficacia tecnológica, retención de compuestos, parámetros de encapsulado (rendimiento, eficiencia encapsulación, tamaño partícula, liberación controlada). El consenso se alcanzará mediante discusión o un tercer revisor si existieran dudas.

Extracción y tabulación de datos

De cada estudio seleccionado se extraerán variables clave: tipo de matriz (jugos, yogur, polvo, barras), técnica de encapsulación (spray drying, coacervación, nanoemulsión), materiales de pared, eficiencia de encapsulación (%), rendimiento, estabilidad (t₀ vs final), liberación in vitro o biodisponibilidad, y parámetros tecnológicos (humedad, T_g, tamaño de partícula). Se organizarán en tablas comparativas por técnica y matriz alimentaria.

Análisis descriptivo y cualitativo

Se realizará un análisis comparativo que permita identificar patrones: por ejemplo, qué materiales de pared ofrecen mayor eficiencia en spray drying, si la nanoencapsulación ofrece mejoras significativas respecto a micro, o qué matrices alimentarias presentan más desafíos. También se atenderán aspectos como escalabilidad, costos, aceptabilidad sensorial y viabilidad tecnológica.

Contextualización regional

Se analizarán los estudios desde la perspectiva latinoamericana: disponibilidad de materias primas (por ejemplo, mucílago, bagazos, subproductos), adaptación tecnológica a industrias regionales, y barreras regulatorias (como etiquetado y aceptación de ingredientes nano) citando estudios como Amaya-Párraga y Adarme-Jaimes (2023) para regulación, o Méndez (2014) en uso de quitosano derivado de crustáceos como polímero encapsulante.

Criterios de calidad y sesgo



Se evaluará la calidad metodológica de los estudios en base a: claridad en descripción de métodos, replicabilidad de formulaciones, uso de controles, estadística descriptiva y/o inferencial, y se señalarán posibles sesgos o limitaciones declaradas por los autores (por ejemplo, falta de análisis sensorial, ausencia de estudios in vivo, condiciones no representativas).

Síntesis narrativa

Con base en datos tabulados y análisis crítico, se confeccionará una síntesis narrativa que discuta ventajas, limitaciones y recomendaciones. Se destacará qué técnicas son más adecuadas según tipo de compuesto (hidrofílico vs lipofílico), tipo de producto (líquido, sólido) y objetivos funcionales (largo plazo de conservación, liberación dirigida).

Actualización y revisión continua

Dado que el campo de encapsulación es particularmente dinámico, se propone una búsqueda complementaria seis meses después de finalizar la redacción, para asegurar que no se omitan investigaciones recientes o en prensa. Esto permitirá incluir, de ser el caso, avances relevantes antes de la publicación final del artículo.

4. RESULTADOS

Los estudios revisados coinciden en que la microencapsulación por secado por atomización (spray drying) mejora la retención de polifenoles y la capacidad antioxidante en matrices frutales y productos en polvo. En pitahaya amarilla, por ejemplo, el uso de maltodextrina como material de pared sostuvo niveles de fenoles totales y optimizó la liberación in vitro frente al extracto no encapsulado, mostrando un efecto protector claro durante y después del proceso térmico.

En aceites ricos en compuestos lipofílicos (como el aceite de pequi), la selección del material de pared resulta decisiva: combinaciones de biopolímeros favorecieron eficiencias de encapsulación elevadas y mejoraron la estabilidad oxidativa tras el secado y almacenamiento, lo que respalda su incorporación en alimentos funcionales grasos o barras.

En matrices con alto contenido de agua, como la pulpa de guayaba, materiales de pared con propiedades prebióticas permitieron obtener polvos microencapsulados con buenas características físico-químicas y desempeño tecnológico, además de preservar compuestos bioactivos característicos de la fruta, potenciando su aplicabilidad en bebidas instantáneas y mezclas en polvo.

Con antocianinas provenientes de subproductos vegetales (cáscara de berenjena y otras fuentes), el encapsulado elevó la estabilidad de color y la capacidad antioxidante de los polvos obtenidos, con morfologías y propiedades (higroscopicidad, solubilidad) adecuadas para formulación en matrices sólidas y semisólidas. Estos resultados apoyan la valorización de subproductos agroindustriales mediante encapsulación.

En lácteos fermentados, la incorporación de bioactivos encapsulados favoreció la estabilidad funcional sin comprometer la aceptabilidad sensorial. En yogur saborizado con frutos andinos, se describen perfiles fisicoquímicos predecibles durante el almacenamiento y conservación de la funcionalidad, lo que es consistente con investigaciones brasileñas donde

extractos polifenólicos encapsulados (p. ej., hibisco) mantuvieron su desempeño antioxidante al ser añadidos a yogur.

En sistemas de confitería (p. ej., gomitas), la microencapsulación de extractos ricos en antocianinas permitió liberación controlada y protección frente a condiciones de proceso y almacenamiento, trasladando la funcionalidad al alimento final con pérdidas menores que las observadas en extractos libres.

La evidencia latinoamericana subraya que la elección de la técnica (spray drying, gelificación iónica, coacervación) y de los materiales de pared (maltodextrina, goma arábica, alginato, quitosano, mezclas) define el tamaño de partícula, la Tg, la humedad, el potencial zeta y, por tanto, la estabilidad y bioaccesibilidad de los compuestos. Estudios de optimización en jugos tropicales respaldan que el ajuste fino de temperatura de entrada/salida y relación sólido:biopolímero incide directamente en la eficiencia de encapsulación y en el rendimiento del proceso.

La nanoencapsulación y las estructuras por gelificación iónica amplían el margen de protección para compuestos sensibles a la luz/oxidación y posibilitan perfiles de liberación más dirigidos (pH, enzimas), con impactos positivos en matrices lácteas y dulces. La literatura regional reporta que estas configuraciones pueden reducir dosis agregadas manteniendo o incrementando la biodisponibilidad relativa de compuestos fenólicos.

Desde la perspectiva de la cadena de valor, la encapsulación acelera la valorización de subproductos (bagazos, cáscaras) al transformarlos en ingredientes funcionales estables, que pueden integrarse en yogures, jugos y productos en polvo con mejoras en vida útil y funcionalidad; esto se observa tanto en frutas andinas como en matrices tropicales brasileñas.

Finalmente, los estudios emergentes en la región muestran co-encapsulación de compuestos hidrofílicos y lipofílicos (p. ej., polifenoles de yerba mate y vitamina D) dentro de una misma matriz, con resultados promisorios en eficiencia y retardo de liberación; esta línea podría escalar hacia bebidas enriquecidas, suplementos y snacks con perfil funcional múltiple.

Para presentar los hallazgos de manera clara y sistemática, a continuación, se incluye una tabla que resume estudios relevantes sobre la aplicación de tecnologías de encapsulación en la conservación de compuestos bioactivos en alimentos funcionales. En ella se destacan el tipo de compuesto evaluado, la técnica de encapsulación empleada, la matriz alimentaria utilizada, así como los principales resultados obtenidos. Esta síntesis permite visualizar rápidamente la evidencia disponible y facilita la comparación entre distintas investigaciones, aportando una visión global de los avances y tendencias en este campo.

Tabla 1 *Aplicación de tecnologías de encapsulación en la conservación de compuestos bioactivos en alimentos funcionales*

Autores (año)	Bioactivo/ Objeto	Técnica y material(es)	Matriz/Aplicación	Hallazgos clave	DOI/Enlace
Serna-Jiménez, Díaz-Martínez, Torres- Valenzuela &	Polifenoles de pitahaya amarilla	Spray drying con maltodextri na	Polvo para alimentos funcionales	Mayor estabilidad y liberación in vitro vs. extracto libre	https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600004 (SciELO)



Autores (año)	Bioactivo/ Objeto	Técnica y material(es)	Matriz/Aplicación	Hallazgos clave	DOI/Enlace
Hoyos-Concha (2017)					
Santos et al. (2020)	Aceite de pequi (lipofílico)	Spray drying; evaluación de materiales de pared	Ingrediente para matrices grasas	Material de pared condiciona eficiencia y estabilidad oxidativa	https://doi.org/10.1590/1981-6723.13219 (SciELO Brasil)
Food Sci. Technol. (BJFT) (2021)	Pulpa de guayaba	Microencap sulación con material prebiótico	Polvos/frutas deshidratadas	Buen desempeño tecnológico y preservación de bioactivos	https://doi.org/10.1590/1981-6723.21320 (SciELO Brasil)
Información Tecnológica (2014a)	Antocianin as de berenjena	Spray drying; evaluación físico- química	Polvos colorantes funcionales	Estabilidad de color y capacidad antioxidante mejoradas	https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300006 (SciELO)
Información Tecnológica (2014b)	Antocianin as (bebidas)	Microencap sulación y evaluación de estabilidad	Bebidas funcionales	Mayor vida útil vs. extracto no encapsulado	https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300007 (SciELO)
Moura et al. (2019a)	Extracto de hibisco	Gelificació n iónica (microcáps ulas)	Yogur	Estabilidad y actividad antioxidante preservadas	https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9 (SciELO Brasil)
Moura et al. (2019b)	Antocianina s de hibisco	Gelificación iónica; aplicación en gomitas	Confitería funcional	Liberación controlada y protección durante almacenamiento	https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.010 (SciELO Brasil)
Food Sci. Technol. (2022)	Jugo de taperebá (mombín amarillo)	Optimizaci ón de spray drying	Ingrediente en polvo	Condiciones de proceso influyen en eficiencia y rendimiento	https://www.scielo.br/j/cta/a/kn5WKZS9S3MBBNvgwBgyPnD/?lang=en (SciELO Brasil)
Formulación chilena (2015)	Microcápsul as por gelación iónica	Gelación controlada (alginato, etc.)	Ingredientes encapsulados	Tamaño controlado y propiedades adecuadas para alimentos	https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600005 (SciELO)
Investigación Joven (2023)	Polifenoles de yerba mate + vitamina D	Co- encapsulac ión (emulsión/ biopolímeros)	Ingrediente para alimentos/suplem entos	Potencial para eficiencias altas y liberación retardada	https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/15638 (revistas.unlp.edu.ar)

Fuente: Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Los resultados revisados muestran claramente que la microencapsulación por secado por atomización es una estrategia eficaz para preservar compuestos bioactivos en matrices alimentarias. Este método se destaca por su aplicabilidad en contextos latinoamericanos, ya que es una técnica accesible industrialmente y con buen rendimiento (Serna-Jiménez et al., 2017; Santos et al., 2020). Estos estudios evidencian que, con un diseño adecuado de la formulación, es posible mantener la funcionalidad nutritiva de frutas tropicales y aceites en productos finales.

La elección del material de pared emerge como un factor determinante de la eficiencia y estabilidad. Cuando se utilizan polisacáridos como maltodextrina o mezclas con prebióticos o biopolímeros, se logran mejoras significativas tanto en la retención de compuestos como en la estabilidad durante almacenamiento (Santos et al., 2020; Food Science and Technology Campinas, 2021). Esto sugiere que adaptar los materiales en función del tipo de bioactivo y la matriz resultará clave para maximizar la funcionalidad.

En el caso de matriz acuosa —como la pulpa de guayaba—, el uso de materiales con propiedades prebióticas no solo protegió los bioactivos, sino que también aportó valor nutricional adicional a los productos en polvo (Food Science and Technology Campinas, 2021). Este enfoque es particularmente valioso en América Latina, donde la disponibilidad de ingredientes con potencial prebiótico puede favorecer sinergias saludables y añadir valor al mercado funcional.

La preservación de antocianinas —pigmentos naturales con fuerte actividad antioxidante— mediante encapsulación ha favorecido la estabilidad del color y su eficacia funcional en polvos alimenticios. Esto aporta beneficios sensoriales, fundamentales para la aceptación del consumidor, y promueve el uso de materiales naturales en vez de aditivos artificiales (Información Tecnológica, 2014a; Información Tecnológica, 2014b). Además, la valorización de subproductos como cáscaras o pulpas encaja con estrategias de sostenibilidad.

En productos lácteos fermentados, como yogures, la encapsulación de bioactivos ha mostrado beneficios palpables para mantener la estabilidad funcional sin comprometer la calidad sensorial o las propiedades probióticas (Moura et al., 2019a). Dado que los mercados latinoamericanos valoran estos productos por su frescura y textura, conservar estos atributos mientras se añade funcionalidad es una contribución técnica importante.

La co-encapsulación —como en yerba mate y vitamina D— abre nuevas posibilidades para crear ingredientes multifuncionales, capaces de ofrecer múltiples beneficios en un mismo sistema. Este enfoque permite además reducir la cantidad total de aditivos, optimizando formulaciones y potencialmente disminuyendo costos de producción (González et al., 2023). Es una línea de investigación prometedora con gran potencial de aplicación industrial y market fit.

La nanoencapsulación destaca por permitir liberaciones más controladas y preservar mejor los compuestos lipofílicos frente a condiciones adversas (calor, luz, oxidación). Aunque los estudios regionales aún son incipientes en esta línea, los hallazgos sugieren que esta técnica podría ser un paso adelante para alcanzar formulaciones de mayor precisión funcional (Moura et al., 2019b). Su incorporación podría posicionar a la región como líder en innovación en alimentos funcionales.

La discusión sobre escalabilidad y viabilidad económica es clave: aunque técnicas como atomización y coacervación están bien establecidas, la implementación real requiere evaluar el costo de biopolímeros, operación de equipos, y aceptación regulatoria. No obstante, la abundancia de materias primas locales (maltodextrina de maíz, mucílagos, subproductos de frutas) ofrece una base sólida para desarrollar soluciones competitivas y sostenibles (Serna-Jiménez et al., 2017; Information Tecnológica, 2014a).

En términos regulatorios, los biopolímeros empleados (maltodextrina, alginato, goma arábica, quitosano) tienen buen historial de uso, pero el avance hacia la nanoencapsulación plantea nuevos desafíos de etiquetado, seguridad y aceptación del consumidor. Las regulaciones latinoamericanas deben avanzar en este sentido, apoyándose en evidencia científica local para garantizar transparencia y seguridad (Amaya-Párraga & Adarme-Jaimes, 2023).

En conjunto, los resultados indican que la encapsulación —micro y nano— es una herramienta clave para el desarrollo de alimentos funcionales en América Latina. Su aplicación en matrices variadas (jugos, yogures, barras, polvos) y con compuestos hidrofílicos o lipofílicos demuestra flexibilidad y potencia. Sin embargo, es crucial avanzar en investigación aplicada que aborde sensorialidad, bioaccesibilidad in vivo, costos de producción y percepción del consumidor, para cerrar la brecha entre investigación y mercado.

6. CONCLUSIONES

La encapsulación de compuestos bioactivos, especialmente mediante tecnologías como la microencapsulación y nanoencapsulación, se ha consolidado como una herramienta eficaz para preservar la estabilidad y funcionalidad de nutrientes sensibles en alimentos funcionales. Su aplicación no solo protege las moléculas durante el procesamiento y almacenamiento, sino que también facilita su liberación controlada y su biodisponibilidad en el organismo.

La literatura revisada evidencia que la encapsulación permite minimizar la degradación de compuestos como polifenoles, antioxidantes y vitaminas frente a factores ambientales como la luz, el oxígeno, la humedad o la temperatura. Esto resulta esencial para mantener el valor agregado de los alimentos funcionales y garantizar que el consumidor reciba un producto con beneficios comprobables para la salud.

Los resultados de múltiples investigaciones demuestran que la selección adecuada del material encapsulante y la técnica utilizada son determinantes para la eficiencia del proceso. Factores como la compatibilidad química, la solubilidad, el tamaño de partícula y la porosidad de la cápsula influyen directamente en la protección y liberación de los compuestos bioactivos.

En este sentido, las matrices alimentarias como yogures, jugos, barras nutricionales y productos en polvo se han beneficiado ampliamente de estas tecnologías, permitiendo el desarrollo de alimentos innovadores con propiedades funcionales mejoradas y mayor tiempo de vida útil en el mercado.

Asimismo, el avance en técnicas de nanoencapsulación ofrece nuevas oportunidades para lograr una liberación más específica y dirigida de los compuestos bioactivos, mejorando la absorción intestinal y potenciando su efecto en la salud humana.



A pesar de los beneficios, aún persisten retos relacionados con la escalabilidad de los procesos, los costos de producción y la aceptación regulatoria, aspectos que requieren ser abordados para facilitar la incorporación masiva de estas tecnologías en la industria alimentaria.

La aplicación de encapsulación en alimentos funcionales representa un puente entre la investigación científica y la innovación industrial, permitiendo que el conocimiento técnico se traduzca en productos reales que benefician a los consumidores y fortalezcan la competitividad del sector alimentario.

En conclusión, la encapsulación de compuestos bioactivos no solo es una tendencia tecnológica en ascenso, sino una estrategia clave para responder a la demanda creciente de alimentos saludables, funcionales y estables en el tiempo, contribuyendo así a la salud pública y al desarrollo sostenible de la industria alimentaria.

Recomendaciones

Es importante que los investigadores continúen explorando nuevos materiales encapsulantes naturales y biodegradables, con el fin de mejorar la sostenibilidad de estas tecnologías y reducir el impacto ambiental.

Se sugiere desarrollar estudios que evalúen la eficiencia de encapsulación a escala industrial, considerando parámetros como costos, consumo energético y adaptabilidad a líneas de producción existentes.

La industria alimentaria debería fortalecer las alianzas con instituciones académicas y centros de investigación para acelerar la transferencia tecnológica y mejorar el acceso a innovaciones en encapsulación.

Es recomendable realizar más investigaciones in vivo para confirmar la biodisponibilidad y los efectos fisiológicos de los compuestos encapsulados, garantizando así su eficacia real en la salud humana.

Se propone diversificar las aplicaciones de encapsulación más allá de los alimentos líquidos y sólidos, incluyendo productos liofilizados, geles y matrices novedosas que permitan mayor versatilidad.

Los desarrolladores de productos deberían considerar el diseño de sistemas de liberación controlada personalizados, adaptados a las necesidades específicas del consumidor y a los objetivos funcionales del alimento.

Es conveniente incorporar criterios regulatorios desde la fase de investigación para facilitar la aprobación de nuevos ingredientes y materiales encapsulantes en diferentes mercados.

Finalmente, se recomienda fomentar la educación del consumidor sobre el valor de la encapsulación en alimentos funcionales, para mejorar su aceptación y disposición a pagar por productos con mayor valor agregado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castagnini, J. M., Rasia, M. C., Scattolaro, O. M., Capodoglio, D. L., Agout, M. F., Chacón, C., & Gerard, J. A. (2019). Microencapsulación de compuestos bioactivos. Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento, 9(9). Recuperado a partir de <https://ojs-act.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/659>
- González, A., Navarro, A., & López, L. J. (2023). Sistemas de encapsulación a base de compuestos bioactivos de yerba mate y cacao para la vehiculización y protección de multinutrientes. Investigación Joven, 10(3), 185-186. Recuperado a partir de <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/15638>
- Jacob-Lopes, E., Ramírez-Mérida, L. G., Menezes, C. R., & Zepka, L. Q. (2023). Microalgas: Potencial para la producción de compuestos bioactivos nanoencapsulados. Ciência e Natura. <https://doi.org/10.5902/2179460X19690>
- López, A., Deladino, L., Navarro, A., & Martino, M. (2012). Encapsulación de compuestos bioactivos con alginatos para la industria de alimentos. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 10(1), 18-27. <https://doi.org/10.24054/limentech.v10i1.1556>
- De Moura, S. C., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Dutra Alvim, I., & Hubinger, M. D. (2019). Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. Food and Bioprocess Technology, 12, 1500-1515. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9>
- De Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Dutra Alvim, I., & Hubinger, M. D. (2022). Microencapsulation of hibiscus bioactives and its application in yogurt. Journal of Food Processing and Preservation, 46(4), e16468. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16468>
- (Opcional extra para contexto comparativo): McClements, D. J. (2018). Encapsulation, protection, and delivery of bioactive proteins and peptides using nanoparticle and microparticle systems: A review. Advances in Colloid and Interface Science, 253, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.02.002>
- Amaya-Párraga, A. I., & Adarme-Jaimes, W. (2023). Perspectivas del desarrollo e innovación de alimentos funcionales. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 73(3), 221-235. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222023000300221
- Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. Revista Chilena de Nutrición, 47(5), 836-846. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182020000500836
- González-Cuello, R., Ortega-Torres, W., & Meléndez-González, N. M. (2014). Encapsulación de compuestos bioactivos alimentarios en matrices poliméricas. Ingeniería y Competitividad, 16(2), 281-294. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29133185002>
- Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., & Sgroppo, S. C. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 12(23), 1e-14e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.23.67747>
- Pereira, G. G., Gonçalves, E. C., Vanin, F. M., Gallo, L., & Kieckbusch, T. G. (2018). Microencapsulation and controlled release by diffusion of food ingredients produced by spray drying (review). Brazilian Journal of Food Technology, 21, e2017083. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08317>



Serna-Jiménez, J. A., Díaz-Martínez, Y. L., Torres-Valenzuela, L. S., & Hoyos-Concha, J. L. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Información Tecnológica*, 28(6), 25-34. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600004

Zapata, I. C., Sepúlveda-Valencia, U., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas, probióticas y antioxidantes de yogurt saborizado con mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw). *Información Tecnológica*, 26(2), 17-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>

CIATEJ (Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco). (s. f.). Micro y nanoencapsulación para la industria alimentaria [Documento técnico]. https://www.ciatej.mx/archivos/secciones/interiores/serviciosin/direccion-de-servicios-tecnologicos/15-difu-miniguia-micro-nanoencapsulacion-en-la-industria-alimentaria_81.pdf

Méndez, E. (2014). Desarrollo de ingredientes funcionales: microencapsulación de compuestos fenólicos con quitosano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(Supl. 2), 31-32. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222014000600074

Amaya-Párraga, A. I., & Adarme-Jaimes, W. (2023). Perspectivas del desarrollo e innovación de alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 73(3), 221-235. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222023000300221

Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(5), 836-846. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000500836>

González-Cuello, R., Ortega-Torres, W., & Meléndez-González, N. M. (2014). Encapsulación de compuestos bioactivos alimentarios en matrices poliméricas. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 281-294. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29133185002>

Méndez, E. (2014). Desarrollo de ingredientes funcionales: microencapsulación de compuestos fenólicos con quitosano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(Supl. 2), 31-32. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222014000600074

Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., & Sgroppo, S. C. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 12(23), 1e-14e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.23.67747>

Pereira, G. G., Gonçalves, E. C., Vanin, F. M., Gallo, L., & Kieckbusch, T. G. (2018). Microencapsulation and controlled release by diffusion of food ingredients produced by spray drying (revisión). *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, e2017083. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08317>

Serna-Jiménez, J. A., Díaz-Martínez, Y. L., Torres-Valenzuela, L. S., & Hoyos-Concha, J. L. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Información Tecnológica*, 28(6), 25-34. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600004

Zapata, I. C., Sepúlveda-Valencia, U., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas, probióticas y antioxidantes de yogurt saborizado con mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw). *Información Tecnológica*, 26(2), 17-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>



Información Tecnológica. (2014a). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.). Información Tecnológica, 25(3). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300006

Información Tecnológica. (2014b). Obtención y evaluación de la estabilidad de antocianinas... Información Tecnológica, 25(3). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300007

Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019a). Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. Food and Bioprocess Technology, 12(9), 1500-1515. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9>

Moura, S. C. S. R., Berling, C. L., Garcia, A. O., Queiroz, M. B., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019b). Release of anthocyanins from the hibiscus extract encapsulated by ionic gelation and application in jelly candy. Food Research International, 121, 542-552. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.010>

Santos, F. H., Silveira, B. M. P., Souza, L. L., Duarte, A. K. C., Ribeiro, M. C., Pereira, K. C., & Costa, J. M. G. (2020). Influence of wall materials on the microencapsulation of pequi oil by spray drying. Brazilian Journal of Food Technology, 23, e2019132. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13219>

Food Science and Technology (Campinas). (2021). Microencapsulation of guava pulp using prebiotic wall material. 24, e2020213. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.21320>

Serna-Jiménez, J. A., Díaz-Martínez, Y. L., Torres-Valenzuela, L. S., & Hoyos-Concha, J. L. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla... Información Tecnológica, 28(6), 25-34. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600004

Food Science and Technology (Campinas). (2022). Optimization of microencapsulation of yellow mombin (taperebá) juice by spray drying. <https://www.scielo.br/j/cta/a/kn5WKZS9S3MBBNvgwBgvPnD/?lang=en>

Silva, C., et al. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. Nutrición Hospitalaria, 28(5), 1413-1421. <https://www.redalyc.org/pdf/3092/309230208007.pdf>

González, A., Navarro, A., & López, L. J. (2023). Sistemas de encapsulación a base de compuestos bioactivos de yerba mate y cacao... Investigación Joven, 10(3), 185-186. <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/15638>

Amaya-Párraga, A. I., & Adarme-Jaimes, W. (2023). Perspectivas del desarrollo e innovación de alimentos funcionales. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 73(3), 221-235. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222023000300221

Food Science and Technology (Campinas). (2021). Microencapsulation of guava pulp using prebiotic wall material. Brazilian Journal of Food Technology, 24, e2020213. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.21320>

Food Science and Technology (Campinas). (2022). Optimization of microencapsulation of yellow mombin (taperebá) juice by spray drying. Brazilian Journal of Food Technology, 25. <https://www.scielo.br/j/cta/a/kn5WKZS9S3MBBNvgwBgvPnD/?lang=en>

González, A., Navarro, A., & López, L. J. (2023). Sistemas de encapsulación a base de compuestos bioactivos de yerba mate y cacao... Investigación Joven, 10(3), 185-186. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/15638>



Información Tecnológica. (2014a). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.). Información Tecnológica, 25(3).
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300006

Información Tecnológica. (2014b). Obtención y evaluación de la estabilidad de antocianinas... Información Tecnológica, 25(3). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300007

Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019a). Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. Food and Bioprocess Technology, 12(9), 1500-1515. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9>

Moura, S. C. S. R., Berling, C. L., Garcia, A. O., Queiroz, M. B., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019b). Release of anthocyanins from the hibiscus extract encapsulated by ionic gelation and application in jelly candy. Food Research International, 121, 542-552. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.010>

Santos, F. H., Silveira, B. M. P., Souza, L. L., Duarte, A. K. C., Ribeiro, M. C., Pereira, K. C., & Costa, J. M. G. (2020). Influence of wall materials on the microencapsulation of pequi oil by spray drying. Brazilian Journal of Food Technology, 23, e2019132. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13219>

Serna-Jiménez, J. A., Díaz-Martínez, Y. L., Torres-Valenzuela, L. S., & Hoyos-Concha, J. L. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla... Información Tecnológica, 28(6), 25-34.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600004

Declaración de Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no presentan conflictos de intereses relacionados con este estudio y confirman que todos los procedimientos éticos establecidos por esta revista han sido rigurosamente respetados. Asimismo, garantizan que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra revista académica.