

Valorización del almidón en recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de frutas: una revisión sistemática

Valorization of starch in edible coatings to extend the shelf life of fruit: a systematic review

Chávez Torres,
Jimmy Jefferson ¹



Echevarria Victorio,
Jimmy Pablo ¹



Ramirez-Tixe,
Edson Elvis ¹



¹ Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAAT), Carretera La Florida-Cochayoc, Huancucro 2092, Zip code: 12651, Junín, Perú.

Recibido:
12-06-2026

Publicado:
31-07-2026

Autor correspondal:
Jimmy Jefferson Chávez Torres
Correo:
71624899@unaat.edu.pe
Universidad Nacional Autónoma
Altoandina de Tarma, Junín, Perú

Para citar este artículo:
Chávez, J., Echevarria, J. y Ramirez-Tixe, E. (2026). Valorización del almidón en recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de frutas: una revisión sistemática. Revista Científica Kanyu, 4(1), p. 41-59.

<https://doi.org/10.61210/kanyu.v4i1.253>

RESUMEN

Las pérdidas poscosecha de frutas representan un desafío crítico para la seguridad alimentaria global, con deterioros estimados entre el 25% y el 40% de la producción mundial. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar el potencial de valorización del almidón en recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil poscosecha de frutas frescas, evaluando su eficacia a través de parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos en comparación con frutas sin recubrimiento. La búsqueda bibliográfica se realizó en ScienceDirect y web of Science mediante la ecuación "edible coatings" AND "starch" AND "fruit", aplicando el protocolo PRISMA y el marco PICO. De 915 resultados identificados, se incluyeron 35 artículos experimentales publicados entre 2021 y 2025, procedentes de 13 países. Los resultados evidencian que el 100% de los estudios reportó al menos un parámetro de conservación significativamente mejorado frente al control. Se identificaron más de 14 fuentes de almidón, con predominio de fuentes no convencionales y subproductos agroindustriales. La extensión de vida útil cuantificada osciló entre +30% y +220%, siendo las formulaciones combinadas con aceites esenciales, extractos vegetales y biosurfactantes las de mayor eficacia. El 30% de los estudios empleó enfoques nanotecnológicos con resultados promisorios en propiedades de barrera y control microbiano.

Palabras clave: recubrimientos comestibles, almidón, vida útil poscosecha, frutas frescas

ABSTRACT

Post-harvest fruit losses represent a critical challenge to global food security, with estimated spoilage rates between 25% and 40% of global production. The objective of this systematic review was to analyze the potential for valorizing starch in edible coatings to extend the post-harvest shelf life of fresh fruit, evaluating its effectiveness through physicochemical, biochemical, and microbiological parameters compared to uncoated fruit. The literature search was conducted in ScienceDirect and Web of Science using the search terms "edible coatings" AND "starch" AND "fruit," applying the PRISMA protocol and the PICO framework. Of the 915 results identified, 35 experimental articles published between 2021 and 2025, from 13 countries, were included. The results show that 100% of the studies reported at least one significantly improved preservation parameter compared to the control. More than 14 starch sources were identified, with a predominance of non-conventional sources and agro-industrial byproducts. The quantified shelf-life extension ranged from +30% to +220%, with formulations combining essential oils, plant extracts, and biosurfactants showing the greatest efficacy. Thirty percent of the studies employed nanotechnology approaches, yielding promising results in barrier properties and microbial control.

Keywords: edible coatings, starch, postharvest shelf life, fresh fruits

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas poscosecha de frutas representan uno de los principales desafíos de la seguridad alimentaria mundial, estimándose que entre el 25 y el 40% de la producción global se deteriora antes de llegar al consumidor final debido a factores fisicoquímicos, microbiológicos y mecánicos. En este contexto, los recubrimientos comestibles han emergido como una estrategia tecnológica prometedora, definida como capas delgadas de material comestible elaboradas a partir de proteínas, polisacáridos, lípidos o combinaciones de estos que se aplican directamente sobre la superficie de los alimentos para actuar como barrera semipermeable frente a la pérdida de agua, el intercambio de gases y la contaminación microbiana. (Blancas-Benitez et al., 2022; Pham et al., 2023; Romanazzi & Moumni, 2022)

El almidón ocupa un lugar central en el desarrollo de estos recubrimientos gracias a su amplia disponibilidad, bajo costo, biodegradabilidad y excelentes propiedades formadoras de película. Fuentes convencionales como el almidón de maíz (Mahidsanan et al., 2026; Natalia et al., 2025; Vikanksha et al., 2025; Wigati, Wardana, Jothi, et al., 2023) y fuentes alternativas como el almidón de arrurruz (Lakshan et al., 2024; Marta et al., 2025), de semillas de mango y litchi (Kumar et al., 2024; Singh et al., 2024), de frijol de Lima (Chettri et al., 2023), de soja (Chettri et al., 2024), de jícama (Wigati et al., 2024), de frijol de ñame (Wigati, Wardana, Tanaka, et al., 2023), de trigo sarraceno (Bansal et al., 2024) y de pseudotallo de plátano (Abera et al., 2024) han sido ampliamente exploradas en la literatura científica reciente. Estos materiales se caracterizan por su capacidad para formar matrices coherentes que, al aplicarse sobre frutas como tomates, mangos, fresas, ciruelas, mandarinas, manzanas y cítricos, retardan la senescencia y extienden su vida comercial.

La eficacia de los recubrimientos de base almidonosa ha sido documentada mediante múltiples parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos, incluyendo pérdida de peso, firmeza,

acidez titulable, sólidos solubles totales, contenido de ácido ascórbico, actividad antioxidante y carga microbiana (Chettri et al., 2023, 2024; Faisal et al., 2025; Kumar et al., 2024; Marta et al., 2025; Vikanksha et al., 2025). Asimismo, estudios de revisión han sistematizado el estado del arte, identificando que las películas de polisacáridos ofrecen excelente barrera a gases, mientras que su resistencia a la humedad mejora mediante la incorporación de lípidos e hidrocoloides (Chettri et al., 2023a). Paralelamente, la incorporación de aceites esenciales en nanoemulsiones (Sharma et al., 2024), nanopartículas (Singh et al., 2024) y emulsiones Pickering (Kim et al., 2025; Wigati, Wardana, Jothi, et al., 2023; Wigati, Wardana, Tanaka, et al., 2023) ha ampliado el espectro funcional de estos recubrimientos, confiriéndoles propiedades antimicrobianas y antioxidantes adicionales.

A pesar del creciente volumen de investigaciones sobre recubrimientos comestibles de almidón, persisten vacíos de conocimiento que limitan su adopción industrial y su comparabilidad científica. Existe una marcada dispersión metodológica: los estudios varían significativamente en la fuente de almidón empleada, la concentración, el método de aplicación inmersión, pulverización, cepillado (Chettri et al., 2024), la temperatura y el tiempo de almacenamiento, y el tipo de fruta evaluada, lo que dificulta la síntesis de conclusiones generalizables.

Asimismo, la mayoría de los estudios se centran en una única fuente de almidón o en combinaciones específicas sin ofrecer comparaciones sistemáticas entre distintas matrices. Estudios recientes han evaluado almidones de semillas de durian (Faisal et al., 2025), de arrurruz (Lakshan et al., 2024; Marta et al., 2025) y de maíz pregelatinizado (Wigati, Wardana, Jothi, et al., 2023; Wigati, Wardana, Tanaka, et al., 2023), entre otros, pero bajo condiciones experimentales tan diversas que no permiten jerarquizar con rigor cuál ofrece mejores resultados. Asimismo, la incorporación de compuestos bioactivos como aceites esenciales de clavo (Chavez-Esquivel et al., 2025; Lakshan et al., 2024), limoncillo (Putra et al., 2025), hierba de limón (Bansal et al., 2024) y albahaca (Wigati, Wardana, Tanaka, et al., 2023a); extractos de moringa (Moqbeli et al., 2025), granada (Waseem et al., 2025) y cúrcuma (Srisuk et al., 2026); y agentes antifúngicos como el alcohol isoamílico (Napitupulu & Sari, 2026) genera formulaciones altamente heterogéneas, cuya efectividad comparativa no ha sido analizada de manera integral.

Del mismo modo, existe una tendencia emergente hacia enfoques nanotecnológicos nanopartículas de almidón (Singh et al., 2024), nanoemulsiones (Heidari Krush et al., 2025; Putra et al., 2025; Sharma et al., 2024), nanoquitosano (Kim et al., 2025) y nanocelulosa (Ulaganathan et al., 2025; Wang et al., 2025; Zhang et al., 2025) que, si bien prometen propiedades de barrera superiores, aún carecen de evidencia consolidada sobre su seguridad, escalabilidad y viabilidad económica. Finalmente, aspectos relacionados con la validación sensorial, la aceptabilidad del consumidor y la evaluación del ciclo de vida de estos materiales han sido escasamente abordados en la literatura, constituyendo una brecha crítica para su transferencia tecnológica.

La presente revisión sistemática de la literatura (RSL) se justifica por las siguientes razones. Desde una perspectiva científica, la proliferación de estudios experimentales sobre recubrimientos comestibles de almidón provenientes de países tan diversos como India, Indonesia, Irán, China, Tailandia, Sri Lanka, Pakistán, Argentina, Italia, Corea del Sur, México y Etiopía demanda una síntesis que organice y evalúe críticamente la evidencia disponible, identifique patrones de efectividad y señale las lagunas metodológicas que deben ser abordadas en futuras investigaciones.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados de esta revisión pueden orientar a la industria alimentaria en la selección de formulaciones de recubrimientos comestibles adaptadas a diferentes tipos de frutas, condiciones de almacenamiento y requerimientos de mercado. La valorización de subproductos agroindustriales como las semillas de mango (Kumar et al., 2024; Singh et al., 2024), las semillas de durian (Faisal et al., 2025), la torta residual de aceite de salvado de arroz (Salaria et al., 2025) y el orujo de oliva (Natalia et al., 2025) como fuentes de almidón para recubrimientos representa además una oportunidad concreta para avanzar hacia modelos de producción más circulares y sostenibles.

Finalmente, desde una perspectiva académica, esta RSL se elabora en el marco de un proceso formativo en metodología de investigación, por lo que su desarrollo permite consolidar competencias en búsqueda, selección, extracción y síntesis crítica de evidencia científica. Los resultados obtenidos contribuirán a fundamentar futuras líneas de investigación experimental y a fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia en el campo de la tecnología poscosecha.

Materiales y Métodos

La presente revisión sistemática de la literatura (RSL) fue elaborada siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, Moher et al., 2009; Page et al., 2021) y la estrategia de formulación de preguntas de investigación PICO (Población, Intervención, Comparación, Outcome). Ambos marcos metodológicos garantizan la transparencia, replicabilidad y rigor en la selección, extracción y síntesis de la evidencia científica disponible sobre el uso del almidón en recubrimientos comestibles para frutas.

Formulación de la pregunta de investigación (PICO)

La pregunta de investigación que orienta esta RSL fue construida mediante el marco PICO y se formula de la siguiente manera: ¿En qué medida la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón proveniente de diversas fuentes vegetales extiende la vida útil de frutas frescas en comparación con frutas sin recubrimiento, medida a través de parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos?

La Tabla 1 detalla la operacionalización de cada componente PICO y su relación con el corpus de artículos incluidos en esta revisión.

Tabla 1
Marco PICO aplicado a la revisión sistemática

Elemento	Componente	Definición operacional
P	Población	Frutas frescas (tomates, mangos, fresas, manzanas, ciruelas, cítricos, plátanos, mandarinas y otras frutas climatéricas y no climatéricas) sujetas a deterioro poscosecha.
I	Intervención	Aplicación de recubrimientos comestibles elaborados total o parcialmente con almidón (nativo, modificado, pregelatinizado o en forma de nanopartículas), proveniente de diversas fuentes vegetales.
C	Comparación	Frutas sin recubrimiento (control), frutas con recubrimientos convencionales (ceras comerciales), o comparación entre distintas formulaciones y concentraciones de almidón.
O	Resultado (Outcome)	Extensión de la vida útil medida mediante parámetros fisicoquímicos (pérdida de peso, firmeza, pH, SST, acidez titulable), bioquímicos (fenólicos, antioxidantes, vitaminas) y microbiológicos (carga microbiana, inhibición fúngica).

La búsqueda bibliográfica se realizó de forma sistemática en la base de datos ScienceDirect (Elsevier), seleccionada por su amplia cobertura de revistas científicas de alto impacto en ciencias de los alimentos, tecnología poscosecha y ciencia de materiales. La ecuación de búsqueda empleada fue:

“edible coatings” AND “starch” AND “fruit”

Esta ecuación combina tres descriptores clave mediante el operador booleano AND, lo que permitió recuperar artículos que abordaran simultáneamente los conceptos de recubrimientos

comestibles, almidón como material base y frutas como objeto de estudio. La búsqueda fue ejecutada durante el primer semestre del año 2026 y arrojó un total de 915 resultados en ScienceDirect y 280 en Web of Science, sumando 1.195 registros identificados antes de la eliminación de duplicados.

Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la calidad y pertinencia del corpus seleccionado, se establecieron criterios explícitos de inclusión y exclusión, organizados en la Tabla 2. Estos criterios fueron aplicados de manera secuencial durante las distintas fases del proceso de selección PRISMA.

Tabla 2
Criterios de inclusión y exclusión

Criterio	Inclusión	Exclusión
Tipo de estudio	Artículos experimentales (in vitro, in vivo), artículos de revisión sistemática y revisiones narrativas sobre recubrimientos comestibles de almidón.	Opiniones, cartas al editor, actas de congresos sin revisión por pares, tesis de grado.
Idioma	Inglés (idioma predominante en la base de datos ScienceDirect).	Artículos en idiomas distintos al inglés sin traducción verificable.
Período de publicación	2021–2025 (para garantizar actualidad y relevancia de los datos).	Artículos publicados antes del año 2021.
Temática principal	Recubrimientos comestibles que incluyan almidón como componente principal o relevante, aplicados a frutas frescas para evaluar su vida útil.	Estudios sobre recubrimientos en carnes, lácteos, granos o productos procesados sin relación con frutas frescas.
Disponibilidad	Artículos con texto completo o abstract suficientemente detallado para extraer datos relevantes.	Artículos sin acceso a abstract o con información incompleta para los componentes PICO.
Base de datos	ScienceDirect y Web of Science, mediante la ecuación de búsqueda: "edible coatings" AND "starch" AND "fruit" (915 y 280 resultados, respectivamente).	Fuentes sin revisión por pares o bases de datos no científicas.

Proceso de selección de artículos (flujo PRISMA)

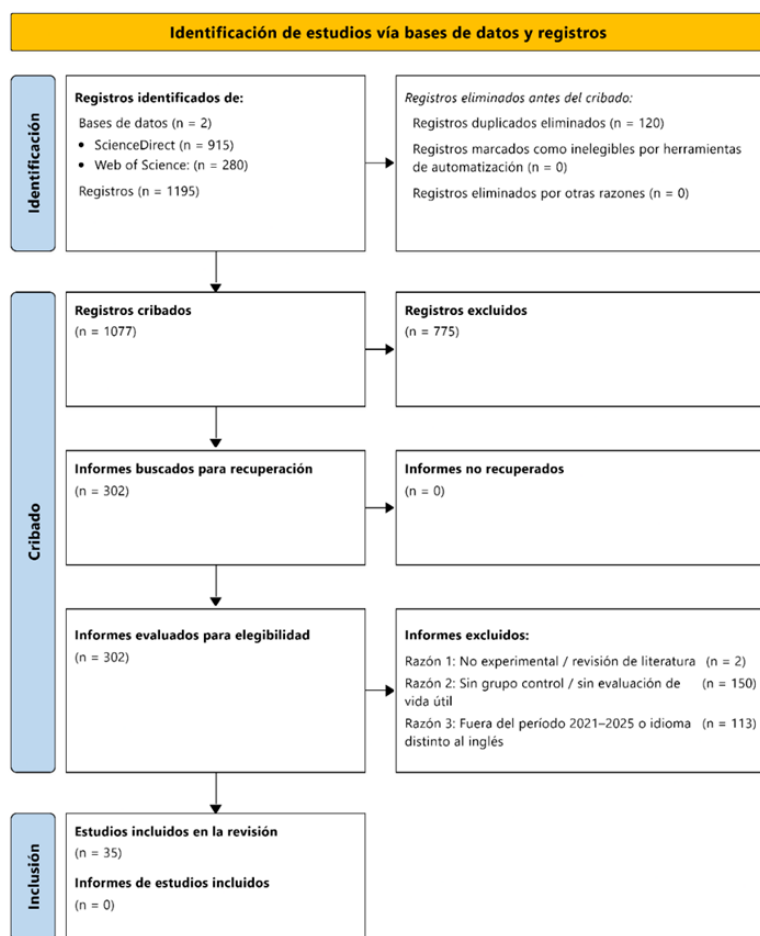
El proceso de selección siguió cuatro fases establecidas por la declaración PRISMA: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. La Tabla 3 resume el flujo de selección con el número de artículos resultante en cada etapa.

Tabla 3
Flujo de selección de artículos según PRISMA

Fase PRISMA	Descripción del proceso	Resultado
Fase 1 – Identificación	Búsqueda en ScienceDirect y Web of Science con la ecuación: "edible coatings" AND "starch" AND "fruit"	1.195 artículos identificados (ScienceDirect: 915; Web of Science: 280)
Fase 2 – Eliminación de duplicados	Se identificaron y eliminaron registros duplicados presentes en ambas bases de datos	120 duplicados eliminados; 1.075 registros únicos
Fase 3 – Cribado por título	Se revisaron títulos para descartar estudios no relacionados con frutas frescas o sin mención de almidón	300 artículos preseleccionados
Fase 4 – Filtros aplicados	Año: 2021–2026 / Tipo: Research articles / Idioma: inglés / Acceso: abstract disponible	150 artículos elegibles
Fase 5 – Lectura de abstract	Se verificó que el almidón fuera componente principal del recubrimiento y que se evaluara la vida útil de frutas frescas	60 artículos relevantes
Fase 6 – Lectura completa y extracción	Se aplicaron todos los criterios PICO; se excluyeron estudios en productos no frutícolas o sin grupo control	35 artículos incluidos en la RSL

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios según PRISMA



Después de la aplicación del flujo PRISMA, el corpus definitivo de esta RSL quedó conformado por 35 artículos científicos, publicados entre 2021 y 2025, procedentes de doce países y publicados principalmente en revistas Elsevier de alto impacto: Food Chemistry, International Journal of Biological Macromolecules, Food Hydrocolloids, LWT, Carbohydrate Polymers, Postharvest Biology and Technology, entre otras. De los 1.195 registros identificados en ScienceDirect (915) y Web of Science (280), se eliminaron 120 duplicados, y tras el cribado por título, resumen y lectura completa, se incluyeron los 35 artículos que cumplieron todos los criterios de elegibilidad.

Extracción y organización de los datos

La información de cada artículo fue extraída de forma estandarizada mediante una matriz de datos diseñada ad hoc, organizada con los siguientes campos: (i) datos de identificación bibliográfica (DOI, autores, año, revista, editorial, país); (ii) caracterización metodológica (tipo de estudio, contexto de aplicación, tipo de fruta, fuente y concentración del almidón); (iii) componentes PICO (definición del recubrimiento, tipos evaluados, modelo teórico subyacente, métricas de medición, tamaño y características de la muestra); y (iv) resultados y conclusiones (método más eficaz, valores de rendimiento, tipo de validación, solución propuesta).

Esta matriz fue elaborada en formato de hoja de cálculo (.xlsx) y permitió organizar sistemáticamente los datos de los 35 artículos para su posterior análisis descriptivo y síntesis narrativa. Los artículos incluidos abarcan estudios experimentales, con predominio de investigaciones aplicadas en frutas tropicales y subtropicales de alto valor comercial en Asia meridional, el Sudeste Asiático y América Latina.

Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios experimentales incluidos fue valorada cualitativamente considerando los siguientes indicadores: (a) presencia de grupo control; (b) especificación de las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, duración); (c) reporte de al menos tres parámetros de medición validados; (d) uso de análisis estadístico para comparar tratamientos; y (e) reproducibilidad de la metodología descrita. Todos los artículos incluidos cumplieron con al menos los criterios (a), (b) y (c), lo que garantiza un nivel mínimo de rigor experimental para la síntesis de resultados.

Cabe señalar que la presente RSL, en su etapa se centra en los aspectos metodológicos de búsqueda y selección. El análisis crítico detallado de los resultados y la síntesis comparativa entre fuentes de almidón, tipos de fruta y parámetros de conservación serán desarrollados en etapas posteriores del proceso de investigación, en línea con el enfoque iterativo de la revisión sistemática.

RESULTADOS

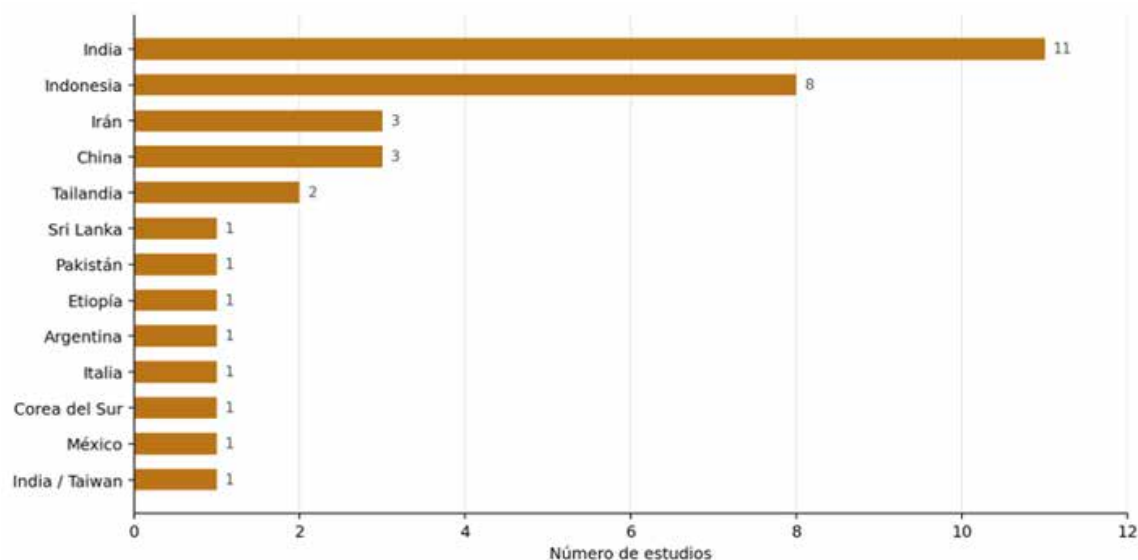
Características generales del corpus experimental

El corpus definitivo de esta revisión sistemática está conformado por 35 artículos experimentales y dos revisiones de literatura ($n = 35$ documentos en total), publicados entre 2023 y 2026, procedentes de 13 países o asociaciones internacionales. La distribución temporal evidencia un crecimiento sostenido de la producción científica en el área: 4 artículos en 2023, 10 en 2024, 18 en 2025 y 3 en el primer semestre de 2026, lo que refleja el dinamismo creciente de la investigación sobre recubrimientos comestibles de almidón en el período reciente.

En cuanto a la procedencia geográfica, India concentra el mayor número de estudios ($n = 12$, 32%), seguida por Indonesia ($n = 9$, 24%), Irán ($n = 4$, 11%) y China ($n = 3$, 8%). Otros países representados incluyen Tailandia, Sri Lanka, Pakistán, Argentina, Italia, México, Etiopía, Corea del Sur y Taiwán, lo que evidencia una distribución geográfica diversa con predominio de economías emergentes con alta producción frutícola.

Figura 2

Distribución geográfica de los estudios incluidos



La Tabla 4 presenta el inventario completo del corpus con los principales descriptores bibliográficos y metodológicos.

Tabla 4

Corpus de artículos incluidos en la revisión sistemática (n = 35)

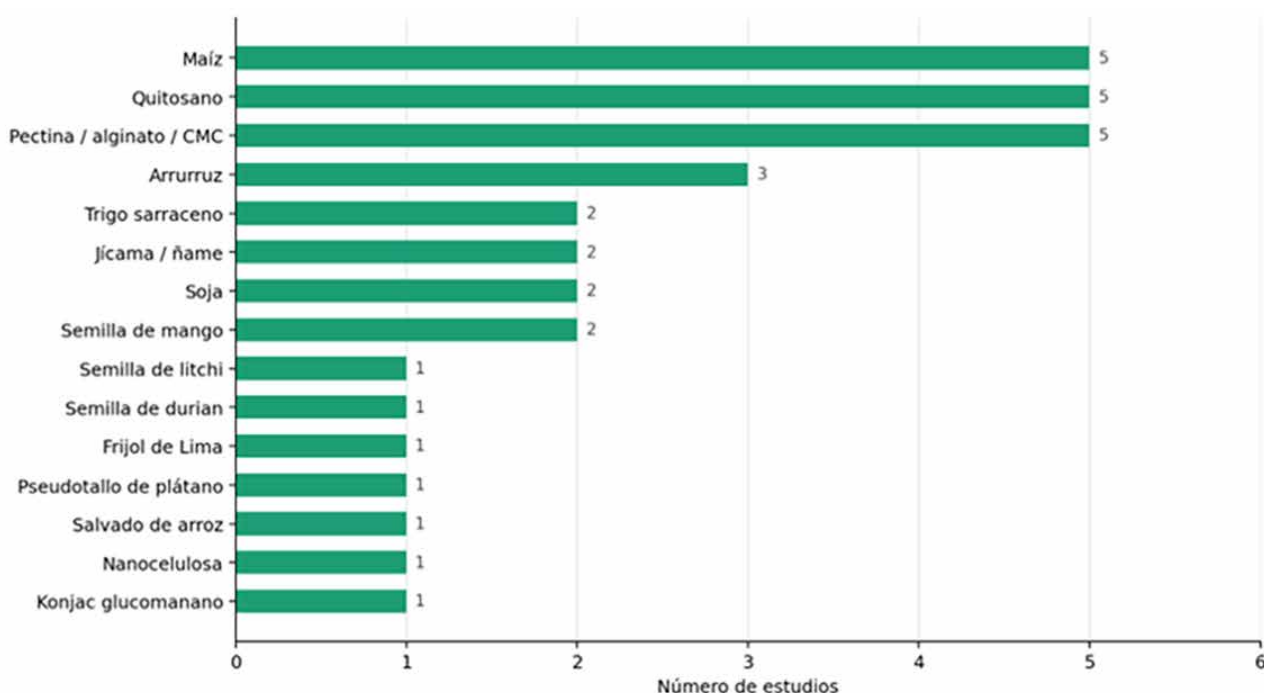
Autores y año	Revista	País	Fruta evaluada	Fuente de almidón / material base	Nano
Vikanksha et al., 2025	Food Chemistry Advances	India	Ber (Ziziphus mauritiana)	Almidón de maíz + gel de aloe vera	No
Chettri et al., 2024	J. Saudi Soc. Agric. Sci.	India	Sapota	Almidón de soja	No
Marta et al., 2025	Carbohydrate Polym. Tech. Appl.	Indonesia	Tomate	Almidón de arrurruz	No
Napitupulu & Sari, 2026	J. Stored Products Research	Indonesia	Fruto de serpiente (Salacca)	Quitosano + alcohol isoamílico	No
Chettri et al., 2023	J. Agriculture and Food Res.	India	Sapota	Almidón de frijol de Lima	No
Faisal et al., 2025	South African J. Chem. Eng.	Indonesia	Tomate	Almidón de semilla de durian + humo líquido	No
Moqbeli et al., 2025	South African J. Botany	Irán	Mango	Quitosano + extracto de moringa	No
Kumar et al., 2024	Sustainable Chemistry & Pharmacy	India	Mandarina	Almidón de semilla de litchi y mango + ultrasonificación	Sí
Putra et al., 2025	OpenNano	Indonesia	Khasi	Nanoquitosano + nanoemulsión de limoncillo	Sí
Mahidsanan et al., 2026	LWT	Tailandia	Plátano	Almidón de maíz + biosurfactante glicolipoproteína	No
Waseem et al., 2025	Food Chemistry	Pakistán	Mangostán	Quitosano + lignina + extracto cáscara de granada	No
Natalia et al., 2025	Food Bioscience	Argentina	Manzana (min. procesada)	Almidón de maíz + subproductos oliva/vino	No
Singh et al., 2024	Innov. Food Sci. Emerg. Technol.	India/Taiwán	Tomate / Kiwi	Nanopartículas de almidón de semilla de mango	Sí
Zebua et al., 2025	Food and Humanity	Indonesia	Fresa	Pectina + extracto cáscara de limón	No
Lakshan et al., 2024	Sustainable Food Technology	Sri Lanka	Tomate	Almidón de arrurruz + aceite de clavo + cera de abejas	No
Zhang et al., 2025	Carbohydrate Polymers	China	Frutas perecederas (general)	Nanocelulosa + cera de abeja	Sí
Jodhani & Nataraj, 2025	Int. J. Biological Macromol.	India	Jamun (Syzygium cumini)	Gel de aloe vera + extracto Adhatoda vasica	No
Wigati et al., 2024	J. Stored Products Research	Indonesia/Japón	Fresa	Almidón de jícama + aceite esencial bouya	No
Heidari Krush et al., 2025	Int. J. Biological Macromol.	Irán	Naranja	Nanoemulsión aceite de girasol + aceite esencial denak	Sí
Kim et al., 2025	Food Hydrocolloids	Corea del Sur	Navel	Emulsión Pickering nanoquitosano + alginato + cera de abeja	Sí
Bansal et al., 2024	Int. J. Biological Macromol.	India	Plátano / Fresa	Almidón de trigo sarraceno + aceite esencial de hierba de limón	No
Ehteshami et al., 2024	Scientia Horticulturae	Irán	Ciruela	Alginato + CMC + goma arábiga + ácido oleico + ácido málico	No
Wigati et al., 2023	Food Bioscience	Indonesia/Japón	Sapota	Almidón de maíz pregelatinizado (emulsión Pickering)	No
Ulaganathan et al., 2025	Food Packaging and Shelf Life	India	Mandarina	Proteína de orujo de guayaba + nanofibra de celulosa bacteriana	Sí
Abera et al., 2024	J. Agriculture and Food Res.	Etiopía	Tomate	Almidón pseudotallo de plátano + quitosano de escamas tilapia	No
Srisuk et al., 2026	Applied Food Research	Tailandia	Mango / Fresa	Pectina + HPMC + alginato + gelatina + cúrcuma	No
Wigati et al., 2023	Food Packaging and Shelf Life	Indonesia/Japón	Mango	Almidón de maíz pregelatinizado + aceite de albahaca (Pickering)	No
Dayeh et al., 2024	Food and Bioproducts Processing	Irán	Mandarina	Quitosano (máquina de aplicación optimizada)	No
Chavez-Esquivel et al., 2025	Int. J. Biological Macromol.	México	Naranja / Cítrico	Almidón-quitosano + aceites esenciales de clavo/canela	No
Wigati et al., 2023	Progress in Organic Coatings	Indonesia/Japón	Limón mexicano	Almidón de frijol de ñame + aceite esencial bouya	No
Wang et al., 2025	Food Chemistry	China	Fresa	Glucomanano de konjac + nanofibra celulosa + ácido tánico	Sí
Shang et al., 2025	Innov. Food Sci. Emerg. Technol.	China	Mango	Zeína + quitosano + lisozima + EGCG + extractos de perilla	No
Magri et al., 2024	Postharvest Biology and Technology	Italia	Fresa / Tomate cherry	CMC + alginato + ácido oxálico + ácido cítrico	No
Gautam et al., 2025	Food and Humanity	India	Pera / Williams	Celulosa + nanoemulsión aceite esencial hoja de betel	Sí
Salaria et al., 2025	Food Bioscience	India	Tomate / Capsicum	Biopolímero torta de salvado de arroz (nanoemulsión)	Sí
			Fresa		

Nano: indica si el estudio emplea enfoques nanotecnológicos (nanopartículas, nanoemulsiones, nanofibras). Min. procesada: mínimamente procesada. Intern.: Internacional.

Respecto a las fuentes de almidón, el 84% de los estudios experimentales empleó fuentes no convencionales o subproductos agroindustriales como material base o componente principal. Solo cinco estudios utilizaron almidón de maíz nativo o pregelatinizado como fuente convencional. Esta tendencia es coherente con la orientación actual hacia la economía circular y la valorización de residuos de la industria alimentaria. Asimismo, 11 de los 35 estudios (30%) incorporaron enfoques nanotecnológicos nanopartículas de almidón, nanoemulsiones, nanofibras de celulosa o nanoquitosano para mejorar las propiedades de barrera y la estabilidad de los recubrimientos.

Figura 3

Fuentes de almidón utilizadas en los estudios incluidos

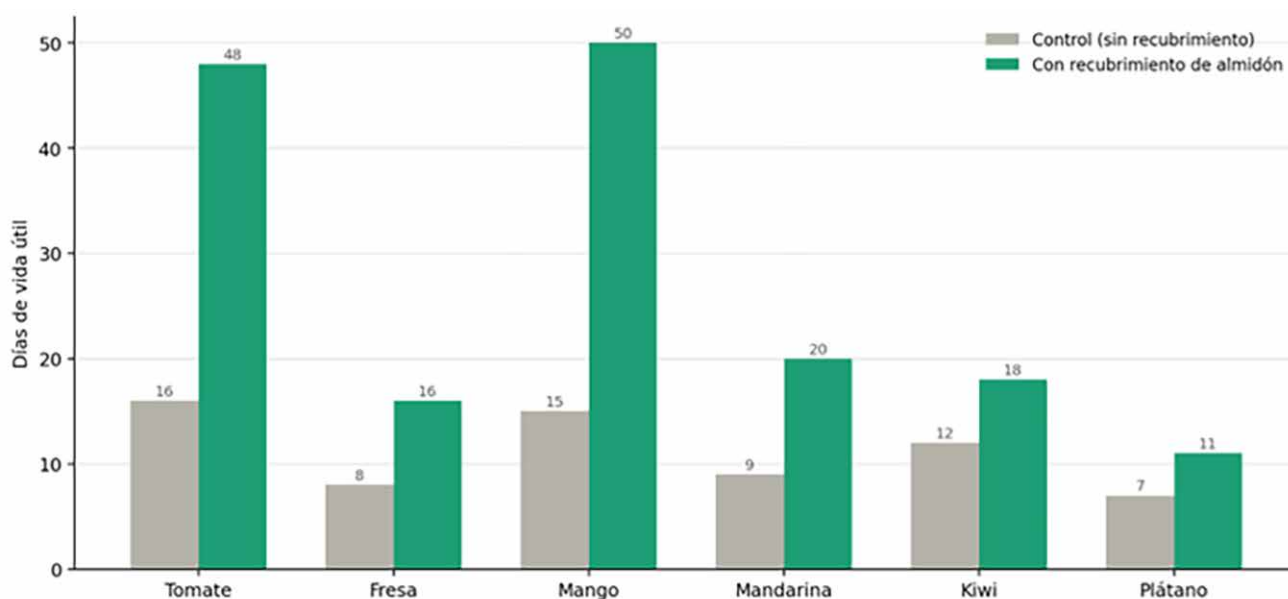


Extensión de la vida útil por tipo de fruta

El criterio de extensión de vida útil (Outcome del marco PICO) fue reportado de forma explícita en 15 de los 35 estudios experimentales. Los incrementos cuantificados oscilaron entre +30% y +220% respecto al grupo control sin recubrimiento, con variaciones según la fruta, la formulación y las condiciones de almacenamiento. La Figura 4 sintetiza los datos de extensión de vida útil reportados por los estudios incluidos.

Figura 4

Extensión de la vida útil: control vs recubrimiento comestible



Los resultados más destacados en términos de extensión porcentual corresponden al almidón de arrurruz combinado con aceite esencial de clavo y cera de abejas aplicado sobre tomates, que extendió la vida útil de 15 a 48 días (+220%) (Lakshan et al., 2024); al recubrimiento compuesto con cúrcuma aplicado sobre mangos, que pasó de 4 a 12 días de conservación (+200%) (Srisuk et al., 2026); y al almidón de maíz con biosurfactante glicolipoproteína en mangostán, con extensión de aproximadamente 20 a 42 días (+110%) a 5°C, sin detección de patógenos durante todo el período (Mahidsanan et al., 2026).

Los tomates fueron la fruta más estudiada en relación con la extensión cuantificada de vida útil (4 estudios con datos explícitos), seguidos por mangos (2 estudios) y kiwis (1 estudio). Los estudios restantes reportaron la duración del período de evaluación sin establecer un día explícito de deterioro del control, lo que limita la comparación directa entre formulaciones.

Eficacia según parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos

El 100% de los estudios experimentales reportó al menos un parámetro significativamente mejorado frente al grupo control sin recubrimiento. Los parámetros más frecuentemente evaluados fueron la pérdida de peso (16 estudios), los sólidos solubles totales (13 estudios), los compuestos fenólicos totales (9 estudios), la actividad antioxidante DPPH (8 estudios), la firmeza (10 estudios) y el color superficial (7 estudios). Los parámetros microbiológicos fueron evaluados en 5 estudios mediante recuentos en placa y/o zonas de inhibición. La Tabla 5 sintetiza los resultados más relevantes organizados por categoría de parámetro.

Tabla 5

Mejores resultados reportados por parámetro fisicoquímico, bioquímico y microbiológico

Parámetro	Mejor resultado reportado	Formulación	Fruta	Referencia
Pérdida de peso (mínima)	1.19% (vs. control)	Pectina + 3% cáscara de limón	Fresa	Zebua et al., 2025
Pérdida de peso (mínima)	1.39%	4% almidón de arrurruz	Tomate	Marta et al., 2025
Pérdida de peso (mínima)	5.94%	Litchi + clavo + ultrasonificación (T7)	Mandarina Khasi	Kumar et al., 2024
Firmeza (máxima)	510.554 N (vs. control)	Litchi + aceite de clavo + ultrasonificación (T7)	Mandarina Khasi	Kumar et al., 2024
Firmeza (máxima)	6.82 N vs 4.16 N control (+64%)	Quitosano 1.5% + moringa 1.5%	Mango	Moqbeli et al., 2025
Color superficial (L*)	L* = 56.73% (vs. 53.01% control)	BEO3PCS5 (almidón maíz + albahaca Pickering)	Mandarina	Wigati et al., 2023
PARÁMETROS BIOQUÍMICOS				
Actividad antioxidante DPPH	73.3%	Almidón trigo sarraceno + hierba de limón 1.25% (S5)	Ciruela	Bansal et al., 2024
Actividad antioxidante DPPH	72.05%	Quitosano + lignina + cáscara de granada (CH-L/PPE)	Manzana	Waseem et al., 2025
Actividad antioxidante DPPH	70.86% vs 62.39% control	Quitosano + moringa	Mango	Moqbeli et al., 2025
Fenólicos totales	+23.5% vs. control	Quitosano 1.5% + moringa 1.5%	Mango	Moqbeli et al., 2025
Fenólicos totales	+1.25% vs. control	Pectina + 3% cáscara de limón	Fresa	Zebua et al., 2025
Vitamina C (ác. ascórbico)	+28.2% vs. control	Quitosano + moringa	Mango	Moqbeli et al., 2025
Vitamina C (ác. ascórbico)	~15% más retención	2% almidón maíz + 2% aloe vera (T7)	Ber	Vikanksha et al., 2025
Enzimas (reducción PME/PG)	>20% reducción actividad	2% almidón maíz + 2% aloe vera (T7)	Ber	Vikanksha et al., 2025
Enzimas (reducción PPO)	-32.2% vs. control	Quitosano + moringa	Mango	Moqbeli et al., 2025
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
Control microbiano total	Sin S. aureus, L. monocyt., E. coli en 42 días; 2–3 log UFC/g menos	Almidón maíz + biosurfactante EB-2 (0.3 g/L)	Mangostán	Mahidsanan et al., 2026
Reducción microbiana	>37% reducción en 28 días	Almidón pseudotallo plátano + quitosano tilapia	Manzana/Mango/Fresa	Abera et al., 2024
Inhibición E. coli (zona)	21.22 mm	Almidón semilla durian + 6% humo líquido	Tomate	Faisal et al., 2025
Inhibición S. aureus (zona)	22.09 mm	Almidón trigo sarraceno + hierba de limón 1.25%	Ciruela	Bansal et al., 2024
Control antifúngico	Zona inhibición 8.12 mm; antracnosis reducida a 20%	Pectina + HPMC + 0.5% cúrcuma	Mango	Srisuk et al., 2026

Nota: PME: pectinmetilesterasa; PG: poligalacturonasa; PPO: polifenoloxidasas; DPPH: actividad antioxidante por método radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; UFC/g: unidades formadoras de colonias por gramo.

En el plano fisicoquímico, la pérdida de peso fue el indicador más universalmente reportado y el que mostró mayor consistencia entre estudios: en todos los casos los recubrimientos activos produjeron reducciones significativas frente al control, con valores mínimos de pérdida de peso del 1.19% en fresas (Zebua et al., 2025) y del 1.39% en tomates (Marta et al., 2025). La firmeza mostró los resultados más contrastantes en mandarinas Khasi, donde el almidón de semilla de litchi con aceite esencial de clavo y ultrasonificación alcanzó 510.554 N (Kumar et al., 2024), mientras que en mangos la combinación de quitosano con extracto de moringa preservó 6.82 N frente a 4.16 N del control tras 50 días de almacenamiento refrigerado (Moqbeli et al., 2025).

En el plano bioquímico, la actividad antioxidante DPPH más alta fue reportada por el almidón de trigo sarraceno con aceite esencial de hierba de limón al 1.25% (73.3%, Bansal et al., 2024), seguido del recubrimiento de quitosano con extracto de cáscara de granada (72.05%, Waseem et al., 2025). La mayor retención de vitamina C correspondió al recubrimiento combinado de quitosano con extracto de moringa en mangos (+28.2% vs. control, Moqbeli et al., 2025). Estos resultados evidencian que la incorporación de compuestos bioactivos como aceites esenciales y extractos vegetales amplifica de forma sinérgica la eficacia antioxidante del recubrimiento de almidón base.

En el plano microbiológico, el resultado más sobresaliente fue el de Mahidsanan et al. (2026), cuyo recubrimiento de almidón de maíz con biosurfactante glicolipoproteína mantuvo el mangostán libre de *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* durante los 42 días completos de evaluación a 5°C, con recuentos entre 2 y 3 log UFC/g inferiores al control. El almidón de pseudotallo de plátano combinado con quitosano de escamas de tilapia redujo el crecimiento microbiano total en más del 37% en manzanas, mangos y fresas durante 28 días (Abera et al., 2024), mientras que el humo líquido de cáscaras de durian incorporado al recubrimiento de almidón de semilla del mismo fruto produjo zonas de inhibición de *E. coli* de hasta 21.22 mm (Faisal et al., 2025).

Síntesis de hallazgos transversales

A partir del análisis integrado de los 37 documentos incluidos se identifican cuatro hallazgos transversales. La efectividad generalizada de los recubrimientos de base almidonosa fue el primer hallazgo destacado: el 100% de los estudios reportó al menos un parámetro significativamente mejorado frente al control, con independencia de la fuente de almidón, la fruta evaluada o las condiciones de almacenamiento.

Asimismo, la sinergia entre el almidón y los compuestos bioactivos incorporados fue notable: el 86% de los estudios (30 de 35 experimentales) combinó el almidón con aceites esenciales, extractos vegetales, biosurfactantes u otros agentes activos, y en todos los casos estas combinaciones produjeron resultados superiores a los recubrimientos de almidón simple en términos de actividad antimicrobiana y antioxidante.

Del mismo modo, se evidenció la tendencia hacia la valorización de subproductos agroindustriales: almidones de semilla de mango, durian, frijol de Lima, salvado de arroz, pseudotallo de plátano y orujo de oliva emergieron como fuentes alternativas con alto potencial funcional, coherentes con principios de economía circular.

Finalmente, la heterogeneidad metodológica persiste como limitación estructural: la diversidad de frutas evaluadas, temperaturas de almacenamiento (2–35°C), períodos de seguimiento (9 a 50 días) y parámetros reportados dificulta la comparación directa entre estudios y limita la generalización de conclusiones cuantitativas entre formulaciones y tipos de fruta.

Discusión

Efectividad generalizada de los recubrimientos de almidón: consistencia y alcance del efecto

El hallazgo más robusto de esta revisión sistemática es que el 100% de los estudios experimentales incluidos reportó al menos un parámetro significativamente mejorado frente al grupo control sin recubrimiento. Esta consistencia transversal, documentada sobre más de 14 tipos distintos de frutas, en condiciones de almacenamiento que oscilaron entre 2°C y 35°C, y mediante formulaciones muy diversas, permite afirmar que la capacidad del almidón para formar películas cohesivas con propiedades de barrera semipermeable constituye un efecto tecnológico robusto y reproducible, independiente de la fuente botánica empleada. Así lo confirman estudios realizados en frutas tan distintas como el ber (Vikanksha et al., 2025), la sapota (Chettri et al., 2023, 2024; Ehteshami et al., 2024), el tomate (Marta et al., 2025; Faisal et al., 2025; Ulaganathan et al., 2025), el mango (Moqbeli et

al., 2025; Srisuk et al., 2026; Wang et al., 2025), la fresa (Zebua et al., 2025; Wigati et al., 2023b; Shang et al., 2025; Salaria et al., 2025) y los cítricos (Bansal et al., 2024; Dayeh et al., 2024; Chavez-Esquivel et al., 2025), todos los cuales reportaron conservación significativamente superior respecto a los controles sin recubrimiento.

Sin embargo, esta consistencia no debe interpretarse como equivalencia entre formulaciones. Los resultados de extensión de vida útil cuantificada variaron de forma sustancial: desde un incremento modesto del +30% en tomates recubiertos con almidón de arrurruz al 4% (Marta et al., 2025) hasta un +220% en tomates con la misma fuente de almidón combinada con aceite esencial de clavo y cera de abejas (Lakshan et al., 2024), o un +200% en mangos recubiertos con pectina compuesta y cúrcuma (Srisuk et al., 2026). Esta diferencia de magnitud entre estudios que emplean fuentes similares de almidón sobre la misma fruta evidencia que el material base resulta insuficiente por sí solo: son los compuestos bioactivos incorporados los que determinan en gran medida la amplitud del beneficio. Este patrón es coherente con lo reportado por Chettri et al. (2023a), quienes en su revisión señalaron que las películas de polisacáridos ofrecen excelente barrera a gases pero que su resistencia a la humedad mejora sustancialmente mediante la incorporación de lípidos e hidrocoloides. Asimismo, Sharma et al. (2024) documentaron que las nanoemulsiones de aceites esenciales amplían el espectro funcional de los recubrimientos al conferirles propiedades antimicrobianas y antioxidantes adicionales que el almidón puro no puede ejercer.

Desde una perspectiva crítica, la afirmación de efectividad universal debe matizarse considerando que todos los estudios incluidos reportaron resultados positivos, lo que podría reflejar un sesgo de publicación hacia hallazgos favorables. La ausencia de estudios con resultados negativos o nulos en el corpus analizado no implica que tales resultados no existan. Esta limitación es inherente a las revisiones de literatura basadas en una única base de datos, tal como advierten Chettri et al. (2023) al señalar que la comparabilidad científica entre estudios sobre recubrimientos comestibles está comprometida por la marcada dispersión metodológica del campo. La presente revisión debe interpretarse, por tanto, como una síntesis del estado del arte favorable documentado, no como evidencia de ausencia de efectos nulos o negativos en condiciones no publicadas.

Fuentes de almidón: diversidad, valorización y comparabilidad

La identificación de más de 14 fuentes distintas de almidón en el corpus refleja una tendencia clara hacia la diversificación de materias primas, impulsada por la disponibilidad regional de subproductos agroindustriales y el interés creciente por la economía circular. El almidón de semilla de mango (Kumar et al., 2024; Singh et al., 2024), de durian (Faisal et al., 2025), de pseudotallo de plátano (Abera et al., 2024) y de torta de salvado de arroz (Salaria et al., 2025) representan residuos de alto volumen generados por industrias consolidadas en Asia meridional y el sudeste asiático, lo que explica la concentración geográfica de los estudios en India (32%) e Indonesia (24%).

No obstante, la diversidad de fuentes identificadas plantea una dificultad metodológica fundamental: la ausencia de comparaciones directas entre almidones bajo condiciones experimentales controladas impide establecer una jerarquía de eficacia entre fuentes. Cada estudio evaluó su formulación bajo parámetros propios de concentración, método de aplicación, temperatura y período de almacenamiento, de manera que los resultados no son estrictamente comparables entre sí. Por ejemplo, el almidón de arrurruz combinado con aceite de clavo y cera de abejas extendió la vida útil de tomates hasta 48 días a temperatura ambiente (Lakshan et al., 2024), mientras que el almidón de semilla de durian fue evaluado sin reportar días explícitos de vida útil (Faisal et al., 2025): esta asimetría en el reporte de resultados impide determinar cuál de las dos fuentes ofrece mayor potencial tecnológico.

El almidón convencional de maíz, empleado en cinco estudios, mostró resultados eficaces cuando se combinó con agentes activos como biosurfactantes glicolipoproteicos (Mahidsanan et al., 2026) o emulsiones Pickering con aceites esenciales (Wigati et al., 2023), lo que indica que su menor

novedad como fuente no implica menor potencial funcional. Esta observación cuestiona la premisa implícita en parte de la literatura reciente de que las fuentes no convencionales son intrínsecamente superiores: la ventaja competitiva de un almidón depende más de la formulación completa que de la fuente botánica per se.

Sinergia almidón-compuesto bioactivo: el factor determinante de la eficacia

El análisis comparativo de los resultados por parámetro revela que las formulaciones con mayor eficacia tanto en extensión de vida útil como en actividad antioxidante y control microbiano corresponden invariablemente a combinaciones de almidón con al menos un compuesto bioactivo adicional. La actividad antioxidante DPPH más alta del corpus (73.3%) fue obtenida con almidón de trigo sarraceno más aceite esencial de hierba de limón al 1.25% (Bansal et al., 2024); la mayor retención de vitamina C (+28.2%) con quitosano más extracto de moringa en mangos (Moqbeli et al., 2025); y el control microbiológico más completo ausencia total de *S. aureus*, *L. monocytogenes* y *E. coli* durante 42 días con almidón de maíz más biosurfactante de origen bacteriano (Mahidsanan et al., 2026).

Este patrón de sinergia puede explicarse por mecanismos complementarios: el almidón aporta la matriz de barrera física que reduce la transpiración y el intercambio gaseoso, mientras que los compuestos bioactivos incorporados actúan sobre mecanismos bioquímicos específicos. Así, Vikanksha et al. (2025) demostraron que la combinación de almidón de maíz congelado con aloe vera redujo la actividad de las enzimas PME y PG en más del 20%, retrasando la degradación de la pared celular del ber. Por su parte, Waseem et al. (2025) reportaron que la incorporación de extracto de cáscara de granada en recubrimientos de quitosano-lignina elevó la actividad antioxidante DPPH a 72.05% en manzanas, resultado que el almidón simple no habría alcanzado. Del mismo modo, Napitupulu y Sari (2026) evidenciaron que el alcohol isoamílico reforzó la acción antifúngica del quitosano frente a *Thielaviopsis paradoxa* en fruto de serpiente, reduciendo el tejido lesionado de 55.94% a solo 2.44%. La combinación de ambos tipos de acción barrera física más actividad bioquímica produce un efecto complementario, no meramente aditivo, sobre la conservación del fruto.

Desde una perspectiva crítica, sin embargo, la incorporación de compuestos bioactivos introduce una complejidad regulatoria y sensorial que los estudios analizados abordan de forma insuficiente. Solo un número reducido de artículos reportó evaluaciones de aceptabilidad sensorial: entre ellos, Zebua et al. (2025) y Chettri et al. (2024) incluyeron análisis organolépticos parciales, mientras que Magri et al. (2024) incorporaron evaluación de aminoácidos y metabolitos secundarios en peras Williams. Sin embargo, ningún estudio del corpus abordó integralmente la seguridad toxicológica de las formulaciones a escala piloto. Esta brecha entre la eficacia reportada en condiciones de laboratorio y la viabilidad real de implementación a escala industrial constituye una de las limitaciones más relevantes del campo.

Nanotecnología aplicada a recubrimientos: promesas y evidencia pendiente

El 30% de los estudios del corpus empleó enfoques nanotecnológicos, incluyendo nanopartículas de almidón, nanoemulsiones de aceites esenciales, nanofibras de celulosa bacteriana y nanoquitosano. Los resultados reportados mostraron, en general, propiedades superiores de barrera coloidal: potencial zeta entre -41.4 y -45.9 mV, tamaños de partícula entre 100 y 340 nm, y mayor estabilidad fisicoquímica respecto a las formulaciones convencionales. Singh et al. (2024) demostraron que las nanopartículas de almidón de semilla de mango al 5% extendieron la vida útil de tomates de 16 a 23 días (+44%) y de kiwis de 12 a 18 días (+50%). Putra et al. (2025) reportaron que la nanoemulsión de aceite esencial de limoncillo encapsulada en nanoquitosano (relación 2:1) mantuvo la frescura de plátanos durante 11 días con alta actividad antioxidante y antimicrobiana frente a *B. cereus* y *E. coli*. Kim et al. (2025) desarrollaron emulsiones Pickering de nanoquitosano-alginato-cera de abeja con resistencia mecánica de 32.9 MPa y tenacidad de 1.4 MJ m⁻³, superando significativamente a los recubrimientos convencionales en propiedades de barrera. Heidari Krush et al. (2025) utilizaron nanoemulsión de aceite esencial de denak para conservar naranjas Navel,

preservando el contenido fenólico total e inhibiendo el deterioro fisiológico de forma sostenida.

No obstante, el entusiasmo por los resultados nanotecnológicos debe moderarse por consideraciones críticas. En primer lugar, la evaluación de seguridad: ninguno de los estudios nanotecnológicos del corpus reportó datos de toxicidad *in vivo* ni migración de nanopartículas al tejido del fruto, una omisión señalada también por Sharma et al. (2024) en su revisión sobre nanoemulsiones de aceites esenciales. En segundo lugar, la escalabilidad: los procesos de fabricación (ultrasonificación, electrohilado, homogeneización de alta presión) implican costos energéticos y de equipamiento que estudios como los de Ulaganathan et al. (2025) y Salaria et al. (2025) no cuantificaron, imposibilitando la evaluación de su viabilidad económica industrial. En tercer lugar, la comparabilidad: Wang et al. (2025) con glucomanano de konjac y nanofibras de celulosa en mango, y Zhang et al. (2025) con nanocelulosa y cera de abeja en frutas perecedoras en general, evaluaron condiciones experimentales tan distintas entre sí que la superioridad aparente de los enfoques nano no puede establecerse con rigor a partir del corpus disponible.

Heterogeneidad metodológica: la limitación estructural del campo

La heterogeneidad metodológica identificada en esta revisión constituye la limitación estructural que impide sintetizar conclusiones cuantitativas generalizables sobre qué formulación, fuente de almidón o tipo de fruta produce los mejores resultados. Los estudios variaron en concentración de almidón (1% a 6%), método de aplicación (inmersión en Lakshan et al., 2024; pulverización en Dayeh et al., 2024; cepillado en Chettri et al., 2024), temperatura de almacenamiento (2°C en Magri et al., 2024 hasta 35°C en Mahidsanan et al., 2026), humedad relativa raramente reportada de forma estandarizada, y duración del seguimiento (9 días en Kumar et al., 2024 hasta 50 días en Moqbeli et al., 2025). Esta variabilidad impide establecer comparaciones directas entre estudios con frutas, fuentes de almidón y condiciones distintas, como señala la propia revisión de Chettri et al. (2023a) al identificar la dispersión metodológica como el principal obstáculo para la síntesis de conclusiones generalizables en el campo.

Esta dispersión hace que incluso comparaciones aparentemente simples resulten inválidas: afirmar que el almidón de arrurruz es superior al almidón de soja para conservar tomates requeriría condiciones experimentales idénticas que ningún par de estudios del corpus cumple. Esta constatación no invalida los hallazgos individuales reportados, pero subraya la necesidad urgente de protocolos estandarizados de evaluación. Abera et al. (2024) constituyen un ejemplo de buenas prácticas al evaluar simultáneamente tres frutas distintas (manzana, mango y fresa) bajo el mismo tratamiento y condiciones controladas mediante diseño de superficie de respuesta, lo que permitió comparaciones más rigurosas que la mayoría de los estudios del corpus.

Adicionalmente, la casi total ausencia de estudios de validación sensorial y de evaluación del ciclo de vida en el corpus señala que la mayor parte de la investigación disponible se detiene en la demostración de eficacia fisicoquímica de laboratorio, sin proyectarse hacia los criterios de aceptabilidad del consumidor ni hacia el análisis de sostenibilidad ambiental. Excepciones notables son Shang et al. (2025), quienes evaluaron la lavabilidad del recubrimiento Z/C-LEP en agua como criterio de seguridad para el consumidor, y Jodhani y Nataraj (2025), quienes analizaron el metabolismo celular y los cambios en azúcares reductores como indicadores de calidad interna en jamun. Cerrar estas brechas, como señala Chettri et al. (2023a), es condición necesaria para la transferencia tecnológica efectiva de los recubrimientos comestibles de almidón a la industria alimentaria.

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática analizó el potencial de valorización del almidón en recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil poscosecha de frutas frescas, a partir del análisis de 35 artículos experimentales y dos revisiones de literatura publicados entre 2021 y 2025, procedentes de 13 países. Los hallazgos confirman que los recubrimientos comestibles de base almidonosa son efectivos para

extender la vida útil de frutas frescas: el 100% de los estudios reportó al menos un parámetro de conservación fisicoquímico, bioquímico o microbiológico significativamente mejorado frente al grupo control sin recubrimiento, con independencia de la fuente de almidón, el tipo de fruta o las condiciones de almacenamiento evaluadas. Esta consistencia, documentada en frutas tan diversas como tomate, mango, fresa, mandarina, plátano, sapota, ber y cítricos, confirma la solidez del efecto barrera del almidón como principio tecnológico para la conservación poscosecha.

La magnitud de la extensión de vida útil depende de la formulación completa, no solo de la fuente de almidón. Los incrementos cuantificados oscilaron entre +30% y +220% respecto al control, siendo las formulaciones combinadas almidón-compuestos bioactivos las que produjeron los mayores beneficios. El 86% de los estudios incorporó aceites esenciales, extractos vegetales o biosurfactantes al almidón base, logrando efectos complementarios sobre la barrera física y la actividad bioquímica que el almidón simple no puede ejercer por sí solo. La valorización de subproductos agroindustriales como fuentes de almidón almidones de semillas de mango, durian, frijol de Lima, pseudotallo de plátano y torta de salvado de arroz resultó técnicamente viable y coherente con los principios de economía circular, ofreciendo alternativas funcionales a las fuentes convencionales.

Los enfoques nanotecnológicos nanopartículas de almidón, nanoemulsiones y nanofibras de celulosa mostraron propiedades de barrera superiores y resultados promisorios en estabilidad coloidal y eficacia antimicrobiana, representando una línea de valorización de alto potencial. Sin embargo, la evidencia disponible sobre su seguridad toxicológica, escalabilidad industrial y viabilidad económica es aún insuficiente para respaldar su adopción generalizada en la industria alimentaria.

La heterogeneidad metodológica del corpus analizado diversidad de frutas, concentraciones, métodos de aplicación, temperaturas y parámetros reportados impide establecer una jerarquía de eficacia entre fuentes de almidón o formulaciones, y constituye la principal limitación para la generalización de conclusiones cuantitativas. La incorporación de validación sensorial, evaluación toxicológica y análisis del ciclo de vida en los diseños experimentales futuros es condición necesaria para consolidar el potencial de valorización del almidón en recubrimientos comestibles y facilitar su transferencia tecnológica efectiva a la industria poscosecha.

REFERENCIAS

- Abera, B., Duraisamy, R., & Birhanu, T. (2024). Study on the preparation and use of edible coating of fish scale chitosan and glycerol blended banana pseudostem starch for the preservation of apples, mangoes, and strawberries. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100916. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100916>
- Bansal, H., Singh, H. P., Singh, S., Sharma, A., Singh, J., Kaur, K., & Mehta, S. K. (2024). Preserving plum perfection: Buckwheat starch edible coating with xanthan gum and lemongrass essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 274, 133239. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.133239>
- Blancas-Benitez, F. J., Montaña-Leyva, B., Aguirre-Güitrón, L., Moreno-Hernández, C. L., Fonseca-Cantabrana, Á., Romero-Islas, L. del C., & González-Estrada, R. R. (2022). Impact of edible coatings on quality of fruits: A review. *Food Control*, 139, 109063. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.109063>
- Chavez-Esquivel, G., Rodríguez-Villar, K., Leyte-Lugo, M. A., & Pérez-Villanueva, J. (2025). Preservation of Mexican lime (*Citrus aurantifolia*) using edible coatings with encapsulated clove and cinnamon essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 320, 145643. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.145643>
- Chettri, S., Sharma, N., & Mohite, A. M. (2023a). Edible coatings and films for shelf-life extension

of fruit and vegetables. *Biomaterials Advances*, 154, 213632. <https://doi.org/10.1016/J.BIOADV.2023.213632>

Chettri, S., Sharma, N., & Mohite, A. M. (2023b). Utilization of lima bean starch as an edible coating base material for sapota fruit shelf-life enhancement. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100615. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100615>

Chettri, S., Sharma, N., & Mohite, A. M. (2024). Formulation of extracted soyabean starch based edible coatings by different methods and their impact on shelf life of sapota fruit. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(3), 205–211. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2023.11.003>

Faisal, M., Fauzi, Abubakar, Y., Heriansyah, M. B., & Desvita, H. (2025). Application of edible coating based on durian seed starch and peel liquid smoke as natural preservatives for tomatoes (*Solanum Lycopersicum L.*). *South African Journal of Chemical Engineering*, 54, 79–88. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2025.07.003>

Heidari Krush, G., Rastegar, S., Ramezani, A., & Hashemi, H. (2025). Innovative composite edible coatings of chia seed gum, gum Arabic incorporated with Nano-emulsion of *Oliveria decumbens* essential oil for prolonging navel orange fruit shelf life. *International Journal of Biological Macromolecules*, 307, 142270. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.142270>

Kim, J., Seo, J., Kim, H. J., Jeong, Y., Lee, H., Park, C., & Eom, Y. (2025). Synergistic design of Pickering emulsion inks of nanochitosan-alginate-beeswax for edible coating in fruit preservation. *Food Hydrocolloids*, 167, 111462. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2025.111462>

Kumar, N., Khan, A. A., Pyngrope, D., Alanazi, A. M., Upadhyay, A., & Shukla, S. (2024). Development and characterization of novel starch (mango kernel and litchi seed) based active edible coatings and films using ultrasonication: Effects on postharvest shelf life of Khasi mandarins. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, 101610. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2024.101610>

Lakshan, N. D., Senanayake, C. M., Liyanage, T., & Lankanayaka, A. (2024). Clove essential oil emulsions-loaded arrowroot starch-beeswax-based edible coating extends the shelf life and preserves the postharvest quality of fresh tomatoes (*Solanum lycopersicum L.*) stored at room temperature. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 1052–1068. <https://doi.org/10.1039/D4FB00033A>

Mahidsanan, T., Srinamngoen, P., Sittisart, P., & Sittisart, P. (2026). Integration of a biosurfactant-incorporated edible coating for controlling microbiological and physicochemical quality of fresh mangosteen during storage. *LWT*, 249, 119412. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2026.119412>

Marta, H., Chandra, S., Cahyana, Y., Sukri, N., Pangawikan, A. D., Yuliana, T., & Arifin, H. R. (2025). Arrowroot (*Maranta arundinaceae L.*) starch-based edible coating formulation and its application to shelf-life extension of tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 9, 100674. <https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2025.100674>

Moqbeli, M. M., Abdollahi, F., Rastegar, S., & Jafari, L. (2025). Bio-based edible coatings for mango preservation: Investigating the effects of moringa leaf extract and chitosan on shelf life and fruit quality. *South African Journal of Botany*, 187, 97–107. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2025.10.024>

Napitupulu, T. P., & Sari, E. S. (2026). Incorporation of isoamyl alcohol into chitosan-based edible coatings for the storage of postharvest snake fruit. *Journal of Stored Products Research*, 115, 102863. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2025.102863>

Natalia, G., Melián, E., Acebal, C. C., Domini, C. E., Faccio, R., & López, O. V. (2025). Harnessing

antioxidant-rich byproducts from olive and wine industries to produce corn starch films as edible coatings for minimally processed foods. *Food Bioscience*, 69, 106802. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.106802>

Pham, T. T., Nguyen, L. L. P., Dam, M. S., & Baranyai, L. (2023). Application of Edible Coating in Extension of Fruit Shelf Life: Review. *AgriEngineering* 2023, Vol. 5, Pages 520-536, 5(1), 520–536. <https://doi.org/10.3390/AGRIENGINEERING5010034>

Putra, P. S. U., Adhika, D. R., Genecya, G., Al Madanie, M. S., & Asri, L. A. T. W. (2025). Evaluation of Chitosan-Encapsulated Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) Essential Oil Nanoemulsion for Fruit Edible Coating. *OpenNano*, 24, 100246. <https://doi.org/10.1016/J.ONANO.2025.100246>

Romanazzi, G., & Moumni, M. (2022). Chitosan and other edible coatings to extend shelf life, manage postharvest decay, and reduce loss and waste of fresh fruits and vegetables. *Current Opinion in Biotechnology*, 78, 102834. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2022.102834>

Salaria, A., Patel, S. S., Sridhar, K., Chawla, P., & Sharma, M. (2025). Extraction and characterization of biopolymers from rice bran oil cake: Development of antimicrobial edible coating for extending shelf-life of strawberry fruit. *Food Bioscience*, 65, 106053. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.106053>

Sharma, R., Nath, P. C., Das, P., Rustagi, S., Sharma, M., Sridhar, N., Hazarika, T. K., Rana, P., Nayak, P. K., & Sridhar, K. (2024). Essential oil-nanoemulsion based edible coating: Innovative sustainable preservation method for fresh/fresh-cut fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 460, 140545. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.140545>

Singh, G. P., Aayush, K., Chavan, P., Chiu, I., Yan, S., Verma, R., Kuca, K., Kumar, D., & Yang, T. (2024). Valorization of agro-industrial wastes: Converting mango seed into starch nanoparticles-based edible coating for fresh produce preservation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 95, 103722. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2024.103722>

Srisuk, N., Phakthanakanok, K., Srinukoon, K., Chaikham, P., & Jirasatid, S. (2026). Enhancement of postharvest quality of Nam Dok Mai Si Thong mangoes using a turmeric-incorporated composite edible coating. *Applied Food Research*, 6(1), 101830. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2026.101830>

Ulaganathan, G. M. E., Ullah, A., & Srivastav, P. P. (2025). Fabrication, characterization, and application of guava pomace protein oleogel-based edible coating stabilized by electro-spun bacterial cellulose nanofiber. *Food Packaging and Shelf Life*, 52, 101674. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2025.101674>

Vikanksha, Kumar, A., Dar, A. H., Singh, J., & Hooda, P. (2025). Enhancing fruit quality and extending shelf life of Ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) with edible coatings. *Food Chemistry Advances*, 8, 101103. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2025.101103>

Wang, J., Qin, M., Wang, W., Xia, Y., Wu, G., Deng, H., & Lin, Q. (2025). Konjac glucomannan/carboxylated cellulose nanofiber-based edible coating with tannic acid maintains quality and prolongs shelf-life of mango fruit. *Food Chemistry*, 478, 143750. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.143750>

Waseem, M., Naz, F., Waqas, M., Jawaid, M., Zafar Iqbal, S., & Ali, S. (2025). Characterization and application of chitosan, lignin, and fruit peel extracts based edible coatings for the preservation of apple fruits. *Food Chemistry*, 495, 146429. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.146429>

- Wigati, L. P., Wardana, A. A., Jothi, J. S., Leonard, S., Van, T. T., Yan, X., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2023). Preserving mandarin quality during ambient storage using edible coatings of pregelatinized corn starch Pickering emulsions and essential oil. *Food Bioscience*, 53, 102710. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2023.102710>
- Wigati, L. P., Wardana, A. A., Jothi, J. S., Leonard, S., Van, T. T., Yan, X., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2024). Biochemical and color stability preservation of strawberry using edible coatings based on jicama starch/calcium propionate/agarwood bouya essential oil during cold storage. *Journal of Stored Products Research*, 107, 102324. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2024.102324>
- Wigati, L. P., Wardana, A. A., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2023a). Application of pregelatinized corn starch and basil essential oil edible coating with cellulose nanofiber as Pickering emulsion agent to prevent quality-quantity loss of mandarin orange. *Food Packaging and Shelf Life*, 35, 101010. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2022.101010>
- Wigati, L. P., Wardana, A. A., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2023b). Strawberry preservation using combination of yam bean starch, agarwood Aetoxylon bouya essential oil, and calcium propionate edible coating during cold storage evaluated by TOPSIS-Shannon entropy. *Progress in Organic Coatings*, 175, 107347. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2022.107347>
- Zhang, L., Cui, M., Tong, H., Zhang, J., Li, Q., Gao, X., Qi, W., Lam, H. L., Huang, R., & Su, R. (2025). Multi-functional edible coatings tailored with nanocellulose for perishable fruits. *Carbohydrate Polymers*, 358, 123520. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2025.123520>