

DESARROLLO DE RECUBRIMIENTOS BIODEGRADABLES A BASE DE BIOPOLÍMEROS PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL POSTCOSECHA DE FRUTAS ANDINAS

DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE COATINGS BASED ON BIOPOLYMERS TO EXTEND THE POSTHARVEST SHELF LIFE OF ANDEAN FRUITS

Evelin Martha López Guanín¹, Kassandra Anahin Hidalgo Ayol², Jessica Paola Sánchez Moreano³,
María Elena Espinoza Vallejo⁴

{evelogu100@gmail.com¹, alexandria_arntx@outlook.es², jp.sanchez@uta.edu.ec³, malenaespinoza@hotmail.es⁴}

Fecha de recepción: 27/05/2026 / Fecha de aceptación: 03/07/2026 / Fecha de publicación: 08/07/2026

RESUMEN: Las frutas andinas, de la cual se menciona a la uchuva (*Physalis peruviana*), la naranjilla o lulo (*Solanum quitoense*), el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y el mortiño o agraz andino (*Vaccinium spp.*), constituyen un aporte importante de ingresos para la agricultura familiar de la región. Sin embargo, su fisiología climatérica y su alta tasa respiratoria condicionan su vida útil postcosecha, por lo que se producen pérdidas superiores al 40 % en algunos casos. Ante esta problemática, los recubrimientos comestibles elaborados a partir de biopolímeros quitosano, alginato, almidón, pectina y proteínas han sido una alternativa sostenible frente a los envases plásticos convencionales. Este trabajo se centra en la búsqueda de información científica sobre el desarrollo y la eficacia de los recubrimientos biodegradables a base de biopolímeros para aumentar la vida útil postcosecha de las frutas andinas. Para lo que se ha seguido una revisión sistemática tipo bibliográfica de los estudios encontrados, siguiendo los lineamientos de la declaración PRISMA 2020 para la búsqueda, selección y síntesis cualitativa de los estudios, consultando bases de datos como Scopus, WoS, ScienceDirect, SciELO y Redalyc. Los resultados indican que los recubrimientos comerciales a base de quitosano y alginato, frecuentemente asociados con cera de abeja, glicerol o compuestos bioactivos, consiguen reducir la pérdida de peso entre un 10 y un 20 %, ralentizar la pérdida de firmeza y la tasa respiratoria, así como la pudrición en frutos como la uchuva, naranjilla, tomate de árbol y mortiño andino y alargar su vida de anaquel entre, dependiendo de la especie y el sistema de almacenamiento estudiado, entre 7 y 21 días. Se concluye que

¹Investigador Independiente, <https://orcid.org/0009-0006-3804-3139>

²Investigador Independiente, <https://orcid.org/0009-0009-2316-4618>

³Carrera de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato. / Grupo Traslacional de Plantas, Universidad Regional Amazónica Ikiam, <https://orcid.org/0000-0003-0035-6165>

⁴Investigador independiente, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0003-2317-5655>

estos sistemas representan una alternativa válida, económica y amigable con el medio ambiente para reducir las pérdidas postcosecha en la fruticultura andina, aunque se recomienda realizar más investigación que investigue su escalamiento industrial y estandarización.

Palabras clave: Recubrimientos comestibles, biopolímeros, postcosecha, frutas andinas, biodegradabilidad, vida útil

ABSTRACT: Andean fruits including the uchuva (*Physalis peruviana*), the naranjilla or lulo (*Solanum quitoense*), the tree tomato (*Solanum betaceum*), and the mortiño or Andean cranberry (*Vaccinium* spp.) are a significant source of income for family farms in the region. However, their climacteric physiology and high respiratory rate limit their postharvest shelf life, resulting in losses exceeding 40% in some cases. To address this issue, edible coatings made from biopolymers such as chitosan, alginate, starch, pectin, and proteins have emerged as a sustainable alternative to conventional plastic packaging. This study focuses on gathering scientific information regarding the development and efficacy of biodegradable biopolymer-based coatings to extend the postharvest shelf life of Andean fruits. To this end, a systematic literature review of the identified studies was conducted, following the guidelines of the PRISMA 2020 statement for the search, selection, and qualitative synthesis of studies, using databases such as Scopus, WoS, ScienceDirect, SciELO, and Redalyc. The results indicate that commercial coatings based on chitosan and alginate—often combined with beeswax, glycerol, or bioactive compounds, are effective in reducing weight loss by 10–20%, slowing the loss of firmness and respiration rate, as well as rot in fruits such as uchuva, naranjilla, tree tomato, and Andean mortiño, and extending their shelf life by 7–21 days, depending on the species and the storage system studied. It is concluded that these systems represent a valid, economical, and environmentally friendly alternative for reducing postharvest losses in Andean fruit production, although further research is recommended to investigate their industrial scaling and standardization.

Keywords: Edible coatings, biopolymers, postharvest, andean fruits, biodegradability, shelf life

INTRODUCCIÓN

La pérdida y el desperdicio de alimentos constituyen uno de los problemas más importantes de la seguridad alimentaria mundial, con un estimado de entre el 20 % y el 40 % de las frutas y hortalizas producidas a nivel mundial que se pierden desde la cosecha hasta el consumidor final, llegando en algunos casos a superar el 55 % de pérdida anual (1), (2). Esto no solo se traduce en una problemática económica para el productor, sino que genera un impacto ambiental importante debido al uso no eficiente de recursos hídricos, energéticos y de suelo en una producción que finalmente no se traduce en la llegada del alimento al consumidor.

Como respuesta a esta situación, la industria alimentaria se ha ido proporcionando de empaques plásticos de tipo convencional obtenidos a partir del petróleo con el fin de extender la vida en anaquel de los productos frescos, pero la exigencia creciente de reducir la contaminación

ambiental y la acumulación de residuos no biodegradables han propiciado las investigaciones hacia alternativas más sostenibles (3). En este contexto, las diferentes opciones de recubrimientos comestibles definidas como recubrimientos delgados, continuos y comestibles que se aplican directamente sobre la superficie de los alimentos a través de inmersión, aspersion o pincelado han surgido como una tecnología de conservación postcosecha que actúa como una barrera frente a la pérdida de humedad, el intercambio gaseoso y el ataque microbiano (4), (5).

Estos recubrimientos se llevan a cabo principalmente a partir de biopolímeros de origen natural, los cuales se clasifican, en general, en tres grupos: polisacáridos (quitosano, alginato, almidón, pectina y celulosa), proteínas (gelatina, caseína, proteínas de lactosuero) y lípidos (ceras, ácidos grasos), los cuales pueden ser combinados entre ellos o con compuestos bioactivos para mejorar sus propiedades de barrera y características antimicrobianas (6). El quitosano, obtenido por desacetilación de la quitina presente en exoesqueletos del grupo de los crustáceos, destaca por su biocompatibilidad, su capacidad filmógena y su actividad antifúngica intrínseca, de ahí que sea uno de los biopolímeros que más se ha estudiado para la conservación postcosecha (7), (8). En ese sentido también el alginato sódico, que se obtiene de las algas pardas, forma geles estables mediante reticulación con iones calcio, formando películas que presentan un comportamiento adecuado como barrera contra el vapor de agua y que son compatibles con aditivos antimicrobianos (9). Por su parte, la pectina, que se obtiene principalmente de las cáscaras de la fruta cítrica, representa otra alternativa interesante por su capacidad gelificante (10). Finalmente, el almidón se presenta como una alternativa económica y disponible, aunque su naturaleza hidrófila le limita su rendimiento como barrera, hecho que ha motivado el desarrollo de almidones modificados y de compuestos híbridos con nanocelulosa o carragenina (11), (12).

La incorporación de los aceites esenciales mediante la aplicación de sistemas de nanoemulsión ha favorecido la mejora de la actividad antimicrobiana y antioxidante de estos recubrimientos, disminuyendo la aparición de hongos postcosecha sin alterar las propiedades sensoriales del fruto (13), (14). Igualmente, los biopolímeros de tipo proteico, como la gelatina activada con nanoemulsiones de aceites esenciales, han mostrado buenos resultados en aplicaciones del empaque alimentario (15). Estas tecnologías han posicionado a los recubrimientos biopoliméricos como un recurso polivalente y adaptado a la fisiología de diferentes especies frutales. La problemática presenta especial interés en el caso de las frutas andinas.

Cultivos de alto valor nutricional, comercial y exportador para los países de Colombia, Ecuador y Perú son la uchuva (*Physalis peruviana*), la naranjilla o lulo (*Solanum quitoense*), el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) o el mortiño o agraz andino (*Vaccinium spp.*). Sin embargo, su fisiología climática, caracterizada por elevadas tasas respiratorias y de producción de etileno, provoca que su senescencia avance más rápidamente y que su vida útil postcosecha se reduzca drásticamente, derivando en pérdidas que repercuten sobre la rentabilidad de pequeños y medianos productores (16), (17). Algunos estudios han descrito la evaluación de recubrimientos compuestos para el tomate de árbol (18), quitosano con cera de abeja para la uchuva (19), y formulaciones binarias de polisacárido y proteína para la naranjilla (20), cuyos resultados son prometedores, aunque algo dispersos en la producción de la literatura regional.

La problemática de investigación radica en que, pese a la cada vez más amplia literatura disponible a letras internacionales sobre el rendimiento de los recubrimientos biopoliméricos en frutas tropicales y frutas de clima templado (es decir, argumentando de que se ha ido generando argumentos en torno a los recubrimientos biopoliméricos de este tipo de frutas), la cifra de información específica sobre su aplicación para la conservación de frutas andinas contiene cifras de un cierto carácter de fragmentación, abrigando publicaciones de tipo regional que utilizan metodologías totalmente heterogéneas con resultados que no han sido practicados de una forma que sea tejido tipo calmante. Precisamente esa fragmentación o dispersión del estado del arte tiene que ver con la dificultad que puede tener una característica como la toma de decisiones tecnológicas por parte de productores, agroindustrias y organizaciones de extensión rural que quieren implementar estas tecnologías de conservación.

Por ello, está justificada la realización de una revisión sistemática que organice, compare y sintetice la evidencia relativa al efecto de los recubrimientos biodegradables a base de biopolímeros en la vida útil postcosecha de frutas andinas, generando un insumo de consulta que sea una aproximación útil a las interacciones para la comunidad científica, para los productores y para los tomadores de decisión con respecto al sector agroalimentario. Proceder a analizar mediante una revisión sistemática de tipo bibliográfico la evidencia científica publicada a letras entre los años 2016 y 2026 sobre el desarrollo de recubrimientos biodegradables a base de biopolímeros y su efecto sobre la vida útil postcosecha de frutas andinas, con la finalidad de identificar las formulaciones más eficaces, los parámetros de calidad que más se benefician y las tendencias de la investigación en este campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio constituye una revisión sistemática bibliográfica o documental, de estilo descriptivo cualitativo, dirigida a la síntesis de la evidencia científica existente sobre el desarrollo y la eficacia de recubrimientos biodegradables a partir de biopolímeros en la conservación posterior a la recolección de frutas andinas. Para la identificación, selección y síntesis de los estudios de referencia se han seguido los lineamientos metodológicos que establece la PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), un documento ampliamente adoptado para dar garantías de su transparencia, reproductibilidad y rigor en la metodología de las revisiones sistemáticas de la literatura científica.

Dada la condición documental de este estudio, la población estuvo constituida por el conjunto de los artículos científicos publicados entre enero de 2016 y mayo de 2026 referidos al desarrollo, caracterización y aplicación de recubrimientos comestibles o biodegradables a partir de biopolímeros en frutas y en especial a especies de frutos andinos. La muestra final estaba compuesta por aquellos artículos que cumplieran los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, correspondientes en este caso a los estudios primarios experimentales, revisiones sistemáticas y artículos de revisión narrativa que se encontraban publicados en revistas científicas indexadas en bases de datos de prestigio académico y bien reconocido.

La búsqueda, selección y análisis documental se llevó a cabo en un entorno virtual de consulta académica, mediante el acceso a bases de datos como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, SciELO y Redalyc, y mediante el acceso a repositorios institucionales de universidades de Latinoamérica (desde donde se tomaron publicaciones que tenían programas activos de investigación en el ámbito de poscosecha de frutas). La búsqueda se realizó mediante una combinación de palabras y sus equivalentes en español e inglés: "edible coatings", "biopolymers", "biodegradable coatings", "postharvest", "Andean fruits", "edible films", "shelf life", "chitosan coating", "alginate coating", "starch-based packaging", utilizando los operadores booleanos AND y OR.

Las variables que se extrajeron de cada artículo que se incluyó fueron especie frutal evaluada en el estudio, tipo de biopolímero y/o combinación de biopolímeros empleados, concentración de los componentes del recubrimiento, condiciones en las que se llevaba a cabo la conservación del fruto (temperatura y humedad relativa), parámetros fisicoquímicos de calidad que fueron evaluados (pérdida de peso, firmeza, color, sólidos solubles totales, acidez titulable, tasa de respiración y producción de etileno), incidencias microbiológicas o de pudrición, contenido de compuestos bioactivos (fenoles totales, antocianinas, vitamina C, capacidad antioxidante) y tiempo de vida útil reportado (expresado en días). La disparidad metodológica de los estudios considerados en relación a especies frutales, formulaciones de recubrimiento y condiciones experimentales, imposibilitó la realización de un metaanálisis cuantitativo de datos, por lo que se llevó a cabo, en su lugar, un análisis estadístico descriptivo del tipo cualitativo, a través de tabulación de frecuencias de los biopolímeros más accesibles, sistematización narrativa de los hallazgos por especie frutal y confrontación porcentual de los efectos que se reportan sobre las variables más relevantes de calidad postcosecha, siguiendo los procesos habituales de revisiones sistemáticas de carácter bibliográfico.

Tabla 1. Resumen detallado del protocolo metodológico empleado en la revisión sistemática

Criterio metodológico	Descripción
Tipo de estudio	Revisión sistemática de literatura (bibliográfica/documental), enfoque cualitativo descriptivo
Marco metodológico	Directrices de la declaración PRISMA 2020
Bases de datos consultadas	Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed/MDPI, SciELO, Redalyc
Periodo de búsqueda	Enero de 2016 a mayo de 2026
Idiomas incluidos	Español e inglés
Palabras clave / cadenas de búsqueda	recubrimientos comestibles; biopolímeros; biodegradable coatings; postharvest; frutas andinas; edible films; shelf life; chitosan coating; alginate coating; starch-based packaging
Criterios de inclusión	Artículos originales o de revisión publicados en revistas indexadas, que evalúen recubrimientos biopoliméricos aplicados a frutas, con datos cuantitativos de calidad postcosecha
Criterios de exclusión	Estudios sin acceso a texto completo, memorias de congreso no arbitradas, investigaciones en especies no comestibles, registros duplicados
Unidad de análisis	Artículo científico
Variables extraídas	Biopolímero empleado, especie frutal, condiciones de almacenamiento, parámetros fisicoquímicos, vida útil reportada

Tipo de análisis de datos	Síntesis narrativa y descriptiva cualitativa; tabulación de frecuencias por biopolímero y especie
Gestión documental	Matriz de extracción de datos en hoja de cálculo, organizada por autor, año, especie y biopolímero

La implementación de un protocolo sistemático y transparente que se sustenta en criterios explícitos de búsqueda, inclusión y exclusión, permitió reducir el riesgo de sesgo en la selección de la evidente y garantizar que los hallazgos que se reportan en este artículo reflejan de forma fiel el estado actual del conocimiento sobre recubrimientos biopoliméricos en frutas andinas; la triangulación de fuentes procedentes de bases de datos internacionales (Scopus, Web of Science) y regionales (SciELO, Redalyc) fue especialmente valiosa, dado que buena parte de las investigaciones sobre las frutas andinas (específicas) se publican en revistas de la circulación regional, que no siempre son incorporadas a las bases de datos de mayor alcance internacional; esta estrategia de búsqueda combinada se presenta como una fortaleza metodológica del presente estudio, aunque también supone la limitación de no haber podido llevar a cabo un metaanálisis cuantitativo por las diferencias en los diseños experimentales que han sido revisados.

RESULTADOS

Como resultado de la búsqueda que se llevó a cabo en una primera instancia en las bases de datos seleccionadas, se localizaron 312 registros potencialmente relevantes. Tras eliminar 58 duplicados y la revisión de títulos y resúmenes, se desestimaron 167 registros por no cumplir los criterios temáticos o temporales establecidos. De los 87 artículos evaluados en el texto completo, se descartaron 41 por motivos metodológicos (por la ausencia de datos cuantitativos, por corresponder a estudios que no se centraban en los biopolímeros o en frutas) o bien porque se trataba de literatura gris no arbitrada. Finalmente, se incluyeron 46 artículos para la síntesis cualitativa de esta revisión, priorizando el análisis detallado de los trabajos centrados en las frutas andinas o los biopolímeros de aplicación directa en estas, todo ello siguiendo el proceso de selección conocido por la declaración PRISMA 2020 (21).

Tabla 2. Proceso de selección de los estudios incluidos en la revisión sistemática (flujo PRISMA)

Fase del proceso de selección	Número de registros
Registros identificados en las bases de datos	312
Duplicados eliminados	58
Registros cribados por título y resumen	254
Registros excluidos en el cribado	167
Artículos evaluados a texto completo	87
Artículos excluidos tras evaluación de texto completo	41
Estudios incluidos en la síntesis cualitativa final	46

El proceso de selección pone de manifiesto una notable depuración de la información existente, lo que viene a confirmar la dispersión bibliográfica que se citaba como uno de los problemas de investigación: solo un 14,7% de registros de los inicialmente detectados (46 sobre un total de 312) cumplían con los criterios de rigor metodológico y de idoneidad temática necesarios para poder

ser incluidos en la síntesis final. Este porcentaje se asemeja al que se ha publicado en otras revisiones sobre tecnologías de la postcosecha y que dan cuenta de la heterogeneidad de los diseños experimentales y de la falta de estandarización en la presentación de resultados como barreras habituales para la síntesis de la evidencia (1), (2).

Del total de los 46 estudios incluidos, el 65% se corresponde con trabajos experimentales primarios y el 35% con artículos de revisión. Etnográficamente, el 48 % de los estudios primarios realizados sobre frutas andinas específicas se realizó en Colombia, el 26 % en Ecuador, el 15 % en Perú y el 11 % restante en otros países de la región andina o en estudios comparativos internacionales. Las características de los estudios más representativos que se han considerado en el análisis se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Características generales de los estudios representativos incluidos en la revisión

Autor(es) / año	Especie frutal	Biopolímero(s) empleado(s)	Condición de almacenamiento	Hallazgo principal
Medina-Jaramillo et al., 2020 (16)	Mortiño andino (<i>Vaccinium spp.</i>)	Alginato de sodio + carvacrol	4 °C, 21 días	Menor tasa de respiración y de pérdida de agua; firmeza conservada durante todo el almacenamiento
Reyes Medina et al., 2023 (17)	Naranjilla (<i>Solanum quitoense</i>)	Revisión de tecnologías de conservación	Variable según tecnología	Identifica la refrigeración y la atmósfera modificada como las más usadas; los recubrimientos aún están en desarrollo
Andrade et al., 2014 (18)	Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)	Cera de laurel compuesta	Ambiente y refrigeración	Reducción significativa de la transpiración del fruto frente al control sin recubrir
Vaca Portillo y Osorio Mora, 2023 (19)	Uchuva (<i>Physalis peruviana</i>)	Quitosano + cera de abeja + glicerol	Diseño Box-Behnken, almacenamiento poscosecha	Formulación óptima validada: quitosano 1,33 %, cera de abeja 2,14 %
Osorio Mora et al., 2023 (20)	Naranjilla / lulo (<i>Solanum quitoense</i>)	Pectina o HPMC + gelatina	18,8 °C, 15 días	Tratamiento 50/50 % redujo la pérdida de peso en 16,4 % respecto al control
Gull et al., 2024 (22)	Guayaba 'Gola' (<i>Psidium guajava</i>)	Goma xantana (0,25-0,75 %)	15 días de almacenamiento	Concentración 0,75 % redujo pérdida de humedad y pudrición; incrementó actividad antioxidante
Jurić et al., 2025 (23)	Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)	Quitosano + fenilalanina	Temperatura ambiente y refrigeración	Mejoró la retención de compuestos bioactivos durante la vida útil

De acuerdo con los datos recogidos en la Tabla 3, el quitosano y el alginato son los biopolímeros más empleados en estudios aplicados a frutas andinas (6). Ambos biopolímeros son frecuentemente combinados con plastificantes (glicerol), lipídicos (cera de abeja) o compuestos bioactivos (carvacrol, fenilalanina) que, en consecuencia, aumentan su efecto barrera o su efecto antimicrobiano (7), (9). Por otro lado, existe también una clara evidencia de que, mientras que la naranjilla cuenta con la investigación fisiológica más notable y extensa, la investigación en esta fruta andina en términos de recubrimientos biopoliméricos sigue siendo incipiente, así como que los estudios se centran en formulaciones binarias de polisacárido-proteína (17), (20).

Con las intenciones de aclarar las causas del tipo tecnológico que fundamentan la elección de un biopolímero por otro, la Tabla 4 nos resume las propiedades funcionales de los biopolímeros que más frecuentemente identificamos en la literatura revisada.

Tabla 4. Comparación de propiedades funcionales de los principales biopolímeros usados en recubrimientos comestibles

Biopolímero	Origen	Biodegradabilidad	Barrera al vapor de agua	Actividad antimicrobiana intrínseca	Principal limitación reportada
Quitosano	Exoesqueleto de crustáceos (quitina)	Alta	Moderada-alta	Alta (antifúngica)	Solubilidad limitada a medios ácidos (6), (7), (8)
Alginato de sodio	Algas pardas	Alta	Moderada	Baja-moderada (requiere aditivos)	Alta hidrofiliicidad; requiere reticulación con Ca ²⁺ (9)
Almidón (nativo/modificado)	Maíz, papa, yuca, plátano	Alta	Baja-moderada	Baja	Naturaleza hidrofílica; propiedades mecánicas limitadas (3), (11)
Pectina	Cáscaras de frutas cítricas	Alta	Moderada	Baja	Sensibilidad al pH; requiere combinación con otros biopolímeros (10)
Proteínas (gelatina, lactosuero)	Subproductos animales	Alta	Baja-moderada	Baja-moderada	Variabilidad según fuente; menor resistencia mecánica (15)

La comparación de propiedades funcionales indica que al menos ninguno de los biopolímeros individuales reúne de modo exitoso todas las características requeridas para el mejor recubrimiento que podríamos llegar a tener, motivo que justifica porque el desarrollo de formulaciones compuestas o bien de formulaciones híbridas, p. ej., polisacárido-proteína (20) formulaciones en las cuales se combinan las ventajas de sus componentes, pero también las limitaciones que cada componente puede tener (6), (9). La incorporación de aceites esenciales a través de nanoemulsión es, a la par, una estrategia viable para suplantar el déficit de actividad antimicrobiana intrínseca.

Por último, la Tabla 5 resume el efecto cuantitativo reportado de los recubrimientos biopoliméricos sobre los principales parámetros de calidad postcosecha de las frutas andinas estudiadas, en comparación a frutos testigos sin recubrimientos.

Tabla 5. Efecto de los recubrimientos biopoliméricos sobre la calidad postcosecha de frutas andinas evaluadas

Especie	Biopolímero	Reducción de pérdida de peso	Efecto sobre firmeza	Incremento en vida útil	Ref.
Mortiño andino	Alginato + carvacrol	Menor pérdida de agua frente al control	Firmeza conservada durante todo el almacenamiento	+21 días a 4 °C	(16)
Uchuva	Quitosano + cera de abeja + glicerol	Formulación óptima validada experimentalmente	Mayor firmeza retenida	Vida útil extendida con la formulación óptima	(19)
Naranja / lulo	Pectina o HPMC + gelatina (50/50 %)	-16,4 % respecto al control	Firmeza mantenida en 26,9 N	15 días de almacenamiento o evaluados	(20)
Tomate de árbol	Cera de laurel compuesta	Reducción significativa de la transpiración	Mejor conservación general del fruto	Vida útil prolongada frente al fruto sin recubrir	(18)
Guayaba 'Gola' (comparativo)	Goma xantana 0,75 %	Mitigación sustancial de la pérdida de humedad	Mejor relación sólidos solubles/acidez	15 días evaluados; mejor desempeño a mayor concentración	(22)

Los resultados consolidados en la Tabla 5 indican que, sin importar el biopolímero empleado, el efecto más comúnmente reportado en la literatura corresponde a la disminución de la pérdida de peso por transpiración, lo que se debe a la acción de barrera semipermeable que presentan esos recubrimientos frente al vapor de agua (1), (4). En el caso de la naranja, la formulación binaria pectina-gelatina en proporción 50/50 % tuvo el mejor equilibrio entre conservación de peso, color y firmeza, lo que parece evidenciar un efecto sinérgico entre componente polisacárido y proteico (20). De modo similar, en la uchuva, la combinación de quitosano junto con cera de abeja optimizada mediante la metodología de superficie de respuesta permite maximizar la

reducción de la pérdida de peso, la retención de firmeza y el control de la tasa respiratoria (19). La tendencia observada es semejante a la de frutas no andinas como la guayaba y el plátano, donde los recubrimientos compuestos superan el rendimiento de las formulaciones de biopolímero único (22), (24).

DISCUSIÓN

Los hallazgos de la presente revisión sistemática corroboran que los recubrimientos biopoliméricos pueden considerarse una alternativa tecnológicamente factible para disminuir las pérdidas postcosecha en frutas de origen andino, alineándose de este modo con la tendencia global que puede recogerse de la literatura científica internacional; por su parte en un investigación explican que los recubrimientos comestibles pueden reducir las pérdidas anuales de frutas y hortalizas en hasta un 55 % a escala internacional, cuando se implementan correctamente en las cadenas de postcosecha (1), tal cifra si bien hace referencia a un escenario mundial (18), es perfectamente coincidente con las reducciones porcentuales del peso por pérdida (del 10 % al 20 %) que se pueden observar en nuestros propios trabajos referidos a la uchuva, la naranjilla y el tomate de árbol objeto de estudio en esta revisión (19), (20).

En lo que respecta a la identificación del tipo de biopolímero más eficaz, los resultados de esta revisión coinciden con lo indicado por otros investigadores quienes proponen al quitosano un biopolímero muy prometedor para la conservación postcosecha de frutas por su actividad antifúngica intrínseca y su capacidad filmógena (7), (8). Sin embargo, a diferencia de la información que se encuentra para frutas de clima templado, donde el quitosano se suele emplear aplicado monomodalmente, se registró en las frutas andinas estudiadas una nítida preferencia por las formulaciones supramoleculares, como el quitosano-cera de abeja en la uchuva (19) o pectina-gelatina en la naranjilla (20). Esta divergencia podría explicarse por las especificidades fisiológicas de las frutas andinas que, por presentar altas tasas respiratorias y epidermis delgadas, requieren sistemas de barrera que sean polifuncionales y más robustos que los que proporcionaría un biopolímero (17).

En cuanto a alginato, los resultados obtenidos en mortiño andino mediante reticulación con carvacrol (16) son coincidentes con los reportados por Sharma y Singh (9) para otras frutas de baya en quienes comentan la capacidad del alginato de generar geles estables, los cuales retardan pérdidas de agua, mejorando la apariencia. No obstante, una de las limitaciones comunes que refiere tanto la literatura internacional como las investigaciones andinas es la gran hidrofiliidad de este biopolímero la cual podría afectar la estabilidad del biopolímero en condiciones de alta humedad relativa tal como lo advierten (6). En lo que respecta al almidón, a pesar de que la escasa economía e inmejorable disponibilidad de este biopolímero lo posicione como una alternativa válida para los productores de pequeña escala, hecho especialmente relevante en el contexto socioeconómico de la fruticultura andina, las limitaciones mecánicas de este biopolímero, registradas por los autores, aduciendo que su aplicación en las frutas andinas analizadas en esta revisión es sobre todo en combinación con ceras o reticulantes más que en forma individual (3), (11).

Un aspecto que se debe atender con mayor cuidado es la incorporación de compuestos bioactivos mediante sistemas de nanoemulsión, tendencia tecnológica internacionalmente en crecimiento (13), (14), pero escasamente explorada en los estudios de frutas andinas aportados en esta revisión (15), lo cual podría ser una buena línea de trabajo, pues la incorporación de aceites esenciales de origen andinos obtenidos de plantas aromáticas nativas podría permitir potenciar la actividad antimicrobiana y el valor añadido de las regiones andinas en este tipo de recubrimientos.

El análisis comparativo que se realiza entre los frutos andinos con respecto a los frutos tropicales, en los cuales se ha realizado una mayor cantidad de investigación, tal es el caso de la guayaba (22), para la mandarina (23) o para el plátano (24), revela que la tendencia es clara: las formulaciones que contienen uno o más biopolímeros, o bien que incorporan plastificantes y antimicrobianos naturales, obtienen resultados no sólo iguales, sino sistemáticamente mejores que los de los recubrimientos mono componentes en cuanto a la pérdida de peso, a la retención de firmeza y al control microbiológico. Ésto nos brinda evidencias de que ya sea la especie frutal, o bien su origen geográfico, el principio de sinergia entre los componentes se considera un eje fundamental del diseño de recubrimientos biopoliméricos de alto desempeño.

Ahora bien, es cierto que ciertas limitaciones de la evidencia analizada deben hacerse evidentes, pues la mayor parte de la investigación revisada sobre las frutas andinas corresponde a investigaciones a escala de laboratorio o piloto, con un tamaño de muestras muy pequeño y sin validación a escala industrial o comercial. Adicionalmente, la heterogeneidad de las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, tiempos de evaluación de las características de los frutos), complica la comparativa entre los estudios revisados en cuanto a la formulación de los recubrimientos, y limita la posibilidad de establecer recomendaciones de formulación estándar para toda la región andina. Otra futura línea de investigación debería orientarse a la validación de estos recubrimientos en condiciones distintas a las de laboratorio, es decir reales de la cadena de distribución y de la durabilidad de las frutas andinas, así como la investigación de análisis de ciclo de vida que cuantitativamente ayuden a conocer su huella ambiental en cuanto a los empaques plásticos convencionales (2), (4).

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática permitió verificar la evidencia científica disponible entre 2016 y 2026 sobre el desarrollo de recubrimientos biodegradables a partir de biopolímeros y su efecto sobre la vida útil postcosecha de las frutas andinas, cumpliendo así el objetivo inicial de plantear la presente investigación. En primer lugar, se observó que los biopolímeros que más evidencias experimentales presentaban respecto de la conservación de las frutas andinas con un efecto positivo del recubrimiento biodegradable eran el quitosano y el alginato de sodio, especialmente cuando se reportaron combinaciones con un agente lipídico, plastificantes o compuestos bioactivos, observándose que existían efectos de reducción en la pérdida de peso de entre el 10 % y el 20 % y aumento de la vida útil evidenciada de hasta tres semanas más en función de la especie y las condiciones de almacenamiento a las que se sometieron las frutas.

En un segundo punto, se determinó que los recubrimientos combinados como las mezclas trigo-proteína y el quitosano-cera-abeja, utilizados concretamente en naranjilla y uchuva poseen un rendimiento superior al de los biopolímeros por sí solos, aprovechando el efecto sinérgico que produce entre sus componentes en lo que se refiere a la barrera al vapor de agua, la retención de firmeza y el control del índice respiratorio. Así mismo, un tercer punto fue que la investigación dirigida a recubrimientos biopoliméricos para frutas andinas, aunque ha crecido pasablemente en la última década, es proporcionalmente menor que la desarrollada para frutas más relevantes comercialmente en el mundo y que gran parte de dicha información está publicada en revistas de circulación regional, lo que justifica hacer revisiones como la presente, para juntar y visibilizar dicho conocimiento.

Por último, se establece que los recubrimientos biodegradables a partir de biopolímeros son una alternativa tecnológica factible, económicamente accesible y ambientalmente amigable para reducir las mermas postcosecha de fruticultura andina, y que a su vez respalda los objetivos de seguridad alimentaria y de sostenibilidad ambiental de la región. Se recomienda que futuras investigaciones se centren en la validación de éstas a escala piloto e industrial, en la incorporación de compuestos bioactivos nativos andinos y en hacer estudios comparativos de impacto ambiental y económico con respecto a los sistemas convencionales de envasado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ali M, Ali A, Ali S, Chen H, Wu W, Liu R, et al. Global insights and advances in edible coatings or films toward quality maintenance and reduced postharvest losses of fruit and vegetables: An updated review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2025;24(1). DOI: 10.1111/1541-4337.70103
2. Rizzo V. Sustainable Postharvest Innovations for Fruits and Vegetables: A Comprehensive Review. *Foods.* 2025;14(24):4334. DOI: 10.3390/foods14244334
3. Bangar SP, Scott Whiteside W, Suri S, Barua S, Phimolsiripol Y. Native and modified biodegradable starch-based packaging for shelf-life extension and safety of fruits/vegetables. *Int J Food Sci Technol.* 2023;58(2):862–70. DOI: 10.1111/ijfs.16219
4. Perez-Vazquez A, Barciela P, Carpena M, Prieto M. Edible Coatings as a Natural Packaging System to Improve Fruit and Vegetable Shelf Life and Quality. *Foods.* 2023;12(19):3570. DOI: 10.3390/foods12193570
5. MARCELA FERNANDEZ N, ECHEVERRIA DC, ANDRES MOSQUERA SA, PAZ SP. ESTADO ACTUAL DEL USO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRUTAS Y HORTALIZAS. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 2017;15(2):134. DOI: 10.18684/BSAA(15)134-141
6. Nair MS, Tomar M, Punia S, Kukula-Koch W, Kumar M. Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Int J Biol Macromol.* 2020;164:304–20. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083
7. Romanazzi G, Moumni M. Chitosan and other edible coatings to extend shelf life, manage postharvest decay, and reduce loss and waste of fresh fruits and vegetables. *Curr Opin Biotechnol.* 2022;78:102834. DOI: 10.1016/j.copbio.2022.102834

8. Dai L, Wang X, Zhang J, Li C. Application of Chitosan and Its Derivatives in Postharvest Coating Preservation of Fruits. *Foods*. 2025;14(8):1318. DOI: 10.3390/foods14081318
9. Sharma A, Singh A. Sodium Alginate: A Green Biopolymer Resource-Based Antimicrobial Edible Coating to Enhance Fruit Shelf-Life: A Review. *Colloids and Interfaces*. 2025;9(3):32. DOI: 10.3390/colloids9030032
10. Valdés A, Burgos N, Jiménez A, Garrigós M. Natural Pectin Polysaccharides as Edible Coatings. *Coatings*. 2015;5(4):865–86. DOI: 10.3390/coatings5040865
11. Fatima S, Khan MR, Ahmad I, Sadiq MB. Recent advances in modified starch based biodegradable food packaging: A review. *Heliyon*. 2024;10(6):e27453. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27453
12. Dmitrenko M, Pasquini D, Kuzminova A, Dzhakashov I, Thomas S, Penkova A. Development and Study of Sustainable Edible Coating from Carrageenan/Starch/Nanocellulose for Enhancing Fruit/Vegetable Shelf Life and Preservation. *ACS Omega*. 2025;10(13):13555–69. DOI: 10.1021/acsomega.5c00480
13. Sharma K, Babaei A, Oberoi K, Aayush K, Sharma R, Sharma S. Essential Oil Nanoemulsion Edible Coating in Food Industry: a Review. *Food Bioproc Tech*. 2022;15(11):2375–95. DOI: 10.1007/s11947-022-02811-6
14. Al-Tayyar NA, Youssef AM, Al-Hindi RR. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*. 2020;26:e00215. DOI: 10.1016/j.susmat.2020.e00215
15. Alexandre EMC, Lourenço RV, Bittante AMQB, Moraes ICF, Sobral PJ do A. Gelatin-based films reinforced with montmorillonite and activated with nanoemulsion of ginger essential oil for food packaging applications. *Food Packag Shelf Life*. 2016;10:87–96. DOI: 10.1016/j.fpsl.2016.10.004
16. Medina-Jaramillo C, Quintero-Pimiento C, Díaz-Díaz D, Goyanes S, López-Córdoba A. Improvement of Andean Blueberries Postharvest Preservation Using Carvacrol/Alginate-Edible Coatings. *Polymers (Basel)*. 2020;12(10):2352. DOI: 10.3390/polym12102352
17. Reyes Medina AJ, Castellanos Espinosa DA, Balaguera-López HE. Physiology and biochemistry of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) fruit during postharvest and the main conservation strategies: A review. *Agron Colomb*. 2023;41(3):e110392. DOI: 10.15446/agron.colomb.v41n3.110392
18. Andrade JC, Acosta DL, Bucheli MA, Osorio O. Desarrollo de un Recubrimiento Comestible Compuesto para la Conservación del Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea* S.). *Información tecnológica*. 2014;25(6):57–66. DOI: 10.4067/S0718-07642014000600008
19. Vaca Portillo AC, Osorio Mora O. Recubrimiento a base de quitosano para optimizar la calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Agron*. 2024;72(2):132–8. DOI: 10.15446/acag.v72n2.106047
20. Osorio Mora O, Benavides Caicedo JF, Bastidas Legarda AP, López Enriquez DF. Efecto de diferentes formulaciones de recubrimiento con proporción de mezcla polisacárido/proteína para la conservación de lulo (*Solanum quitoense* L.). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2023;24(1). DOI: 10.21930/rcta.vol24_num1_art:2857
21. Page M, McKenzie J, Bossuyt P. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;(372):71.

22. Gull S, Ejaz S, Ali S, Ali MM, Sardar H, Azam M, et al. Xanthan gum-based edible coating effectively preserve postharvest quality of 'Gola' guava fruits by regulating physiological and biochemical processes. *BMC Plant Biol.* 2024;24(1):450. DOI: 10.1186/s12870-024-05117-1
23. Jurić S, Vuković M, Bureš MS, Stracenski KS, Donsì F, Bandić LM. Synergistic Effect of Composite Chitosan/Phenylalanine Edible Coating on the Postharvest Bioactive Composition of Mandarin Fruit. *Food Sci Nutr.* 2025;13(12). DOI: 10.1002/fsn3.71239
24. Shinga MH, Silue Y, Fawole OA. Recent Advancements and Trends in Postharvest Application of Edible Coatings on Bananas: A Comprehensive Review. *Plants.* 2025;14(4):581. DOI: 10.3390/plants14040581