

USO DE QUITOSANO COMO RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PARA MEJORAR LA CONSERVACIÓN DE FRESAS

USE OF CHITOSAN AS AN EDIBLE COATING TO IMPROVE THE PRESERVATION OF STRAWBERRIES

Gabriela Beatriz Arias Palma¹, Gabriela de los Ángeles Rodríguez Pontón², Pablo Gabriel Pazmiño Peñafiel³, Elvis Gabriel Jaramillo Ortega⁴.

{gabriela.arias@utc.edu.ec¹, gabydelosangeles@hotmail.es², pgabpp@gmail.com³, elvizjaramillo@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 15/02/2025 / Fecha de aceptación: 27/02/2025 / Fecha de publicación: 03/03/2025

RESUMEN: Las fresas son un fruto altamente apreciado a nivel mundial, sin embargo, presentan un desafío en términos de conservación debido a su corta vida útil. Los recubrimientos comestibles a base de quitosano han emergido como una alternativa prometedora para mejorar la preservación de estos frutos. El problema de investigación nace debido a que existe la necesidad de desarrollar tecnologías que permitan conservar los alimentos de manera más sostenible, manteniendo su frescura y valor nutricional sin recurrir a sustancias químicas perjudiciales. El objetivo es evaluar la eficacia del quitosano como recubrimiento comestible para mejorar la conservación de fresas. La metodología se basó en realizar una revisión literaria teórica, analizando diversos estudios que han evaluado el uso de recubrimientos comestibles a base de quitosano en la conservación de fresas. Se recopilaron datos relacionados con las propiedades fisicoquímicas y la aceptabilidad general de las fresas tratadas. Los estudios revisados demuestran que la aplicación de recubrimientos a base de quitosano logró extender la vida útil de las fresas hasta 15 días a 5°C, 10 días y 8 días, en comparación con los frutos control. Además, estos recubrimientos permitieron mantener las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de las fresas durante el almacenamiento. En conclusión, el uso de recubrimientos comestibles a base de quitosano ya sea solo o en combinación con otros compuestos, es una estrategia efectiva para prolongar la vida útil y mantener la calidad de las fresas frescas. La funcionalización adecuada del quitosano puede mejorar sus propiedades de barrera, antimicrobianas y antioxidantes, contribuyendo a retrasar el deterioro de este fruto perecedero.

Palabras clave: Fresas, quitosano, vida útil, conservación de alimentos

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-2648-7999>.

²Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-8123-5412>.

³Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-3575-4568>.

⁴Investigador Independiente, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-8133-9331>.

ABSTRACT: Strawberries are a highly appreciated fruit worldwide; however, they present a challenge in terms of preservation due to their short shelf life. Chitosan-based edible coatings have emerged as a promising alternative to improve the preservation of these fruits. The research problem arises because there is a need to develop technologies to preserve foods in a more sustainable way, maintaining their freshness and nutritional value without resorting to harmful chemicals. The objective is to evaluate the efficacy of chitosan as an edible coating to improve the preservation of strawberries. The methodology was based on a theoretical literature review, analyzing several studies that have evaluated the use of edible chitosan-based coatings in the preservation of strawberries. Data related to the physicochemical properties and general acceptability of the treated strawberries were collected. The studies reviewed show that the application of chitosan-based coatings was able to extend the shelf life of strawberries up to 15 days at 5°C, 10 days and 8 days, compared to control fruits. In addition, these coatings allowed maintaining the physicochemical and organoleptic properties of strawberries during storage. In conclusion, the use of chitosan-based edible coatings, either alone or in combination with other compounds, is an effective strategy to prolong the shelf life and maintain the quality of fresh strawberries. Proper functionalization of chitosan can improve its barrier, antimicrobial and antioxidant properties, contributing to delaying the deterioration of this perishable fruit.

Keywords: *Strawberries, chitosan, shelf life, food preservation*

INTRODUCCIÓN

Las fresas (*Fragaria × ananassa*) son un fruto altamente apreciado en todo el mundo por su atractivo color rojo, su sabor dulce y su perfil nutricional. Estas frutas no sólo son ricas en antioxidantes, sino que también son una excelente fuente de vitamina C y ácido fólico. Es un nutriente importante que previene enfermedades cardíacas y reduce el riesgo de ciertos tipos de cáncer (1). Aunque las fresas son muy saludables, su conservación supone un grave problema debido a su corta vida útil. Las fresas son un producto delicado, una vez cosechadas ya no están frescas y además existe el riesgo de pérdida de humedad y contaminación de los tejidos (2). Estas condiciones físicas pueden conducir a un rápido deterioro de las propiedades físicas y químicas. Deterioro de la calidad y estabilidad en el mercado.

Con la creciente demanda de productos agrícolas de alta calidad, la industria alimentaria busca soluciones innovadoras para prolongar la vida útil de estos productos. Los consumidores actuales son cada vez más conscientes de la importancia de la calidad de los alimentos que consumen, lo que está impulsando un enfoque más riguroso en el procesamiento postcosecha de frutas como las fresas (3). Tradicionalmente, la calidad de las fresas ha estado ligada a los pesticidas y fertilizantes químicos utilizados en la agricultura. Si bien estos métodos pueden mejorar la productividad y la apariencia del producto, aumentan los costos de producción y tienen graves impactos negativos sobre el medio ambiente (4). Por lo tanto, es cada vez más urgente desarrollar tecnologías que puedan conservar los alimentos de forma más sostenible y mantener su frescura y valor nutricional sin el uso de productos químicos nocivos.

Un método que se ha vuelto cada vez más popular en los últimos años es el uso de recubrimientos alimentarios, que se cree que aumentan la superficie de los alimentos, protegiéndolos de los radicales libres y el deterioro (5), uno de los materiales más utilizados en la fabricación, que puede formar un recubrimiento comestible con diversas sustancias como proteínas, carbohidratos y agentes biológicos, además de ralentizar y retrasar la digestión, el pretratamiento y la irritación de las frutas (6).

El quitosano, un polisacárido obtenido de la quitina, se distingue por sus propiedades antimicrobianas, biodegradabilidad y biocompatibilidad. Estas características lo convierten en un candidato ideal para la elaboración de recubrimientos comestibles, especialmente en frutas y hortalizas (7). Sin embargo, el quitosano presenta una propiedad hidrofílica que puede limitar su eficacia en la protección contra la humedad, lo que sugiere que es necesario combinarlo con compuestos hidrofóbicos para optimizar su rendimiento (8). Adicionalmente, la eficacia del quitosano en el control de microorganismos está influenciada por su peso molecular; por ejemplo, un peso molecular superior a 60 kDa es eficaz contra bacterias Gram positivas, mientras que para las Gram negativas es necesario utilizar quitosano con un peso molecular menor (7).

La aplicación de recubrimientos comestibles de quitosano ha demostrado ser efectiva en la prolongación de la vida útil de diversas frutas, incluyendo naranjas, mangos y frambuesas (9), (10). En estudios realizados por (11), (12) mostraron que el tratamiento con quitosano y aceite de canela logró extender la vida útil de las fresas hasta por 15 días, además de inhibir el crecimiento de mesófilos aéreos. Estos hallazgos sugieren que la formulación y aplicación adecuadas de recubrimientos comestibles pueden ser una estrategia efectiva para mejorar la conservación de fresas, al minimizar la actividad de enzimas que promueven su deterioro y al limitar la acumulación de compuestos fenólicos que pueden afectar su calidad (11), (12).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de los recubrimientos comestibles de quitosano para extender la vida útil de las fresas. Se cree que el quitosano combinado con aceites esenciales puede prolongar significativamente la vida útil de las fresas. Se conservan las propiedades organolépticas y el valor nutricional. Esta investigación no sólo proporciona una alternativa viable y sostenible para el aprovechamiento postcosecha de las fresas, sino que también ayuda a reducir el desperdicio de alimentos y mejorar la satisfacción del consumidor en un mercado con una demanda creciente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y diseño de la investigación

Este estudio se clasifica como una revisión de literatura teórica. En este caso, la variable independiente (velocidad de recubrimiento) no se aplica o no se ajusta correctamente (tiempo de mantenimiento y temperatura). La variable dependiente es la calidad del estudio y la aceptabilidad y las propiedades fisicoquímicas como el pH, porcentaje de humedad, acidez expresado en ácido oxálico y °Brix. Este programa se centra en la profundidad de la investigación y el conocimiento actuales sobre la identificación, caracterización y elucidación de recubrimientos

comestibles utilizando quitosano y otros aditivos. Esto implica la recopilación de datos no cuantificables, pero se basa en revisiones críticas de literatura y literatura revisada por pares.

Desde el punto de vista de la naturaleza del estudio, se considera una investigación cualitativa. El enfoque se centra en conocer, identificar y determinar la profundidad y comprensión de los estudios existentes sobre los recubrimientos comestibles a base de quitosano y otros reactivos, recolectando datos que no son cuantificables, sino que se basan en la observación y el análisis crítico de la literatura.

Entorno

Este estudio se basa en una revisión de la literatura sobre recubrimientos alimentarios de quitosano para fresas. Para este propósito, se recopilará información relevante de artículos y revistas científicas. Seleccionando todos los artículos que cumplen con los criterios de confiabilidad y calidad de investigación. Se espera que esta investigación sea útil para estudiantes e investigadores. El objetivo es demostrar nuevas tecnologías que ayuden a mantener las fresas frescas y prolongue su vida útil.

Con base en los métodos y resultados de cada estudio, los artículos revisados serán asignados al periodo de publicación de 2019 a 2024 y buscados en repositorios académicos como Scopus, Google Scholar y Scielo. Por lo tanto, se realizará un análisis exhaustivo. Esto ayuda a identificar tendencias, desempeño y áreas de mejora en el uso de fibra.

Mediciones y análisis de datos

Los datos se recopilarán utilizando métodos como análisis de contenido de artículos revisados. Se observarán cambios en la morfología fisicoquímica y solubilidad del material tratado. Los datos serán analizados utilizando métodos descriptivos. Y se analizará la literatura utilizando esquemas apropiadas. Sin embargo, debido a la naturaleza del estudio, no se realizó análisis estadístico.

Estas directrices abordan cuestiones clave relacionadas con el uso de recubrimientos alimentarios a base de quitosano en fresas. También contribuye a la discusión sobre la aplicabilidad y el uso potencial del quitosano en la industria alimentaria.

RESULTADOS

Tabla 1. Estudios realizados en fresas con la aplicación de recubrimientos a base de quitosano.

Estudio	Objetivo	Formulación	Métodos	Resultados
---------	----------	-------------	---------	------------

R.C. Quitosano y Aceite de canela.	Evaluar el efecto del quitosano y aceite de canela en la retención en la calidad y reducción de la población microbiana en fresas frescas.	Se utilizó el 1% de quitosano y 0.1% de almidón de aceite de canela	Inmersión (900 g por tratamiento) por 90 segundos en cada tratamiento, aplicación de aire caliente, envasado en plástico	Se alargó la vida útil hasta 15 días a 5°C, manteniendo el contenido de fenoles totales y su capacidad antioxidante. Se retrasó su actividad microbiana.
R.C. Quitosano con extracto de <i>Andrographis paniculata</i> y nanopartículas de selenio.	Promover una aplicación distintiva en la industria alimentaria, especialmente en la ruta sintética de películas de envasado de alimentos de base biológica productivas y rentables.	Selenito de sodio (Na ₂ SeO ₃), ácido acético (CH ₃ COOH, 99%), etanol anhidro (C ₂ H ₅ OH), picrilhidrazilo (C ₁₈ H ₁₂ N ₅ O ₆ , 95%, DPPH), 2,2'-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (C ₁₈ H ₁₈ N ₄ O ₆ S, 95%, ABTS) y glicerol.	Se fabricó una película CS combinada con extracto de <i>A. paniculata</i> y SeNP (CS-APE-Se) utilizando el método de fundición en solución, los SeNP se sintetizaron utilizando <i>A. glabra</i> extracto como agente reductor y estabilizador ecológico.	Se prolongó la vida útil de las fresas hasta en 10 días.
R.C. de carboximetilquitosano/alginate de sodio	Proporcionar una nueva perspectiva sobre un diseño de película alternativa para películas alternativas convenientes, ecológicas y renovables para retrasar el deterioro de la fruta perecedera.	CMCS (Mw = 100 000–200 000, grado de carboxilación ≥80%) y SA (Mw = 200 000, M/G = 0,8), CA (C ₆ H ₈ O ₇ , H ₂ O) (AR, ≥ 99,0%).	Se prepararon películas de hidrogel (HGF) mediante el entrecruzamiento rápido de CMCS, SA y CA en la superficie de la fresa.	El HGF regenerativo podría mantener la frescura de las fresas hasta 8 días a 25,0 °C.
R.C. Quitosano enriquecido con extractos de cúrcuma y té verde	Mejorar la capacidad antioxidante y el contenido fenólico de las fresas.	Polvo de quitosano con 95% de desacetilación, hidrólisis con HCL, C ₃ H ₈ O ₃ , C ₇ H ₆ O ₅ , K ₂ S ₂ O ₈ , fenol ABTS (2,2'-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) y carbonato de sodio.	Para recubrir las fresas, se sumergieron durante 30 s en 100 mL de las soluciones CTU5, CGT5 o CTU5GT5.	Tratamiento con extracto de TU durante 7 d de almacenamiento a 20 °C, recubrimiento con extracto de GT extendió las propiedades antioxidantes de las fresas de 4 a 8 d a 20 °C.

R.C. Quitosano con polifenoles de cáscara de manzana	Investigar la eficacia de los recubrimientos compuestos de polifenoles de cáscara de manzana (APP) a base de quitosano (CS) para mejorar la calidad de almacenamiento de las fresas.	CS-APP2 (0,50 %) retrasa la senescencia y mantiene los atributos de calidad de las frutas durante el almacenamiento.	Las fresas se recubrieron con CS-APP1 (0,25 % APP), CS-APP2 (0,50 %), CS-APP3 (0,75 %), CS-APP4 (1,0 %).	Las fresas se almacenaron a 20 °C y 35–40 % de HR por 18 días.
R.C. Quitosano y aceite de semilla de té	Preparar una película comestible compuesta por quitosano (CH) y aceite de semilla de té (TSO) por el método de fundición.	Quitosano puro (CH) y quitosano con TSO al 0,1 % (CH + TSO 0,1).	Las fresas se recubrieron con los recubrimientos comestibles mediante el método de inmersión.	Las fresas se almacenaron a 2 °C y 70 % de HR durante 24 días.
R.C. Nanofibras de alcohol polivinílico/quitosano electrohiladas incorporadas con complejos de inclusión de 1,8- cineol/ciclodextrina	Mejorar la disponibilidad de EO, y elaborar una película prometedora para la conservación de alimentos.	Alcohol polivinílico (CAS 9002–89-5, grado de polimerización 1788, Mw 30–70 kDa, pureza ≥ 99 %) y quitosano (CAS 9012–76-4, poli(d-glucosamina), grado de desacetilación 81 %, Mw 19 kDa, viscosidad 190 mPa.s en ácido acético al 1 % (25 °C), pureza ≥ 99 %) y HP-β-CD (CAS 128446–35-5, Fw 1541.54, pureza ≥ 98 %), 1,8-cineol (99,5% de pureza).	El 1,8-cineol, el componente principal del aceite esencial de Eucalyptus globulus, se encapsuló en hidroxipropil- β-ciclodextrina para formar un complejo de inclusión, que luego se incorporó al polímero compuesto de alcohol polivinílico y quitosano para fabricar una película nanofibrosa a través de electrohilado.	Esta película podría extender la vida útil de las fresas a 6 días a 25 °C.
R.C. Quitosano/polietilenglicol fortificadas con extracto de desecho de fruta de palma datilera como materiales de envasado de alimentos antimicrobianos prometedores	Eliminar residuos y utilizar los extractos como materiales antimicrobianos que pueden ser utilizados para la preparación de películas/membranas para conservas de alimentos y frutas con baja viabilidad económica.	Compuesto de quitosano (Cs) / polietilenglicol (PEG) cargado de extracto de desecho de fruta de palma datilera (DPFW).	Se utilizó el extracto etanólico de DPFW para desarrollar nuevas películas antimicrobianas para envasado de alimentos compuestas por quitosano (Cs) y polietilenglicol (PEG).	Las fresas se almacenaron a 10 °C durante 20 días.

R.C. Quitosano/celulosa bacteriana combinadas con curcumina	Analizar la dinámica de la liberación de Cur en varios sistemas alimentarios y explorar la actividad antioxidante para crear una base teórica para el uso de películas compuestas.	Concentraciones de curcumina (Cur, 0 %, 0,1 %, 0,3 %, 0,5 % y 0,7 %, p/v) en películas compuestas CS-OBC.	El BC se injertó en CS mediante una reacción de base de Schiff y luego se obtuvieron las fibrillas de tamaño nanométrico mediante un proceso de dispersión ultrasónica.	Extiende la vida útil de las fresas a 8 días a 20 °C.
R.C. Deposición electrostática capa por capa de quitosano y pectina	Desarrollar un recubrimiento multicapa comestible por deposición electrostática capa por capa (LbL) de biopolímeros de quitosano-pectina para extender la vida útil de las fresas.	Quitosano (2 % p/v) y concentraciones variables de pectina (0,25–1 % p/v).	Se aplicó inicialmente una concentración fija de quitosano (2 % p/v) y concentraciones variables de pectina (0,25–1 % p/v) en una secuencia LbL para recubrir la película de polietileno de baja densidad (LDPE).	La aplicación del recubrimiento sobre las fresas prolongó la vida útil (9 días) en comparación con el control (6 días) a temperatura ambiente (25 °C).
R.C. Nanopartículas de lactoferrina-quitosano-TPP	Producir nanopartículas de lactoferrina (L) y quitosano (C) mediante entrecruzamiento iónico con TPP y, por lo tanto, aumentar la actividad antimicrobiana de los biopolímeros.	Bega Bionutrients, Tripolifosfato de sodio (TPP) y quitosano de bajo peso molecular (150 kDa) con un grado de Desacetilación 75% a 80%.	Las nanopartículas de lactoferrina-TPP, quitosano-TPP se sintetizaron con éxito y se caracterizaron por sus interacciones químicas, potencial zeta, tamaño y morfología	Las fresas almacenaron a 25 °C y 50 % de humedad relativa durante seis días.

La Tabla 1 presenta un resumen de diversos estudios que han evaluado la eficacia de los recubrimientos comestibles a base de quitosano para mejorar la conservación de fresas frescas.

En el estudio de (13), se utilizó una formulación que contenía 1% de quitosano y 0.1% de aceite de canela. La aplicación de este recubrimiento mediante inmersión durante 90 segundos logró extender la vida útil de las fresas hasta 15 días a 5°C, manteniendo el contenido de compuestos fenólicos totales y retrasando la actividad microbiana.

Por otro lado, (14) desarrollaron un recubrimiento compuesto por quitosano, extracto de *Andrographis paniculata* y nanopartículas de selenio. Este tratamiento permitió prolongar la vida útil de las fresas hasta 10 días, demostrando que la combinación de quitosano con otros agentes bioactivos puede ser una estrategia efectiva para mejorar la conservación.

Otro estudio, realizado por (15), (16) exploraron el uso de un recubrimiento a base de carboximetilquitosano y alginato de sodio. Los resultados indicaron que este sistema de

recubrimiento pudo mantener la frescura de las fresas hasta 8 días a 25°C, lo que sugiere que la selección adecuada de los biopolímeros utilizados es crucial para optimizar el desempeño de los recubrimientos.

Asimismo, los trabajos de (17) demostraron que la incorporación de extractos naturales, como los de cúrcuma, té verde y cáscara de manzana, a los recubrimientos de quitosano mejoró la capacidad antioxidante y retrasó la senescencia de las fresas durante el almacenamiento. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar los efectos sinérgicos entre el quitosano y otros aditivos naturales.

Finalmente, los estudios de (18) abordaron el desarrollo de películas compuestas a base de quitosano y otros polímeros, como el alcohol polivinílico y la celulosa bacteriana. Estos recubrimientos lograron extender la vida útil de las fresas hasta 8-9 días en condiciones de almacenamiento, lo que sugiere que la combinación de diferentes materiales puede ser una estrategia efectiva para mejorar aún más la conservación de este fruto.

En general, los resultados recopilados en la Tabla 1 demuestran que el uso de recubrimientos comestibles a base de quitosano ya sea solo o en combinación con otros compuestos, es una alternativa prometedora para prolongar la vida útil y mantener la calidad de las fresas frescas. Factores como la formulación, las concentraciones de los ingredientes y las metodologías de aplicación han sido claves en la eficacia de estos recubrimientos para reducir el deterioro y preservar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de las fresas.

DISCUSIÓN

La funcionalización del quitosano como recubrimiento comestible representa una alternativa prometedora para mejorar la conservación de fresas y otros productos hortofrutícolas, al potencializar sus propiedades tecnológicas y funcionales. Los diferentes estudios revisados demuestran que la incorporación de diversos compuestos orgánicos, inorgánicos y/o biológicos a la matriz de quitosano ha permitido extender significativamente la vida útil de las fresas, manteniendo sus atributos de calidad.

Por ejemplo, el recubrimiento de quitosano funcionalizado con aceite de canela logró prolongar la vida útil de las fresas hasta 15 días a 5°C, preservando el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, además de retrasar la actividad microbiana. Estos resultados coinciden con lo reportado por (19), (20) quienes atribuyeron la mejora en las propiedades de barrera y de intercambio de gases del recubrimiento a la incorporación de aceites esenciales, lo que contribuye a retrasar la maduración y deshidratación de las fresas sin afectar sus características sensoriales.

Asimismo, la funcionalización del quitosano con extractos naturales ricos en compuestos bioactivos, como el extracto de *Andrographis paniculata* y nanopartículas de selenio, o los extractos de cúrcuma y té verde, ha demostrado ser efectiva para prolongar la vida útil de las

fresas (hasta 10 y 8 días, respectivamente) y mantener sus propiedades antioxidantes. Esto concuerda con lo expuesto en el artículo de revisión, donde se menciona que la combinación del quitosano con estos extractos puede reducir el ataque de microorganismos, disminuir reacciones de oscurecimiento y el estrés oxidativo en los frutos, retrasando así su maduración (21).

Por otro lado, la funcionalización del quitosano con compuestos de origen proteico, como el aislado de proteína de soya, proteína de quinoa y carotenoproteínas, también ha sido efectiva para mantener estables los parámetros de calidad de las fresas, principalmente la textura. Esto se atribuye a la inhibición de la degradación de la pectina presente en la pared celular del fruto, tal como se indica en el artículo de revisión (22).

Además, la incorporación de otros polisacáridos, como carboximetilcelulosa, alginato de sodio y pectina, a la matriz de quitosano ha permitido mejorar las propiedades de barrera del recubrimiento, reduciendo la permeabilidad al oxígeno y vapor de agua, lo que se ha traducido en una mayor vida útil de las fresas con cambios mínimos en sus parámetros de calidad (23).

Asimismo, la funcionalización del quitosano con agentes biológicos, como levaduras y lactobacilos, también ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir la incidencia de microorganismos patógenos y prolongar la vida útil de las fresas, tal como se menciona en el artículo de revisión.

Cabe destacar que la funcionalización del quitosano como recubrimiento comestible es un área de investigación en constante evolución, donde se están explorando diversas estrategias para mejorar aún más el desempeño de estos recubrimientos. Una de las tendencias emergentes es la incorporación de nanocompuestos a la matriz de quitosano, como nanopartículas de plata, dióxido de silicio y dióxido de titanio, los cuales pueden mejorar las propiedades de barrera, mecánicas y antimicrobianas de los recubrimientos (24).

Otra estrategia interesante es la funcionalización del quitosano mediante la encapsulación de compuestos bioactivos, como aceites esenciales y compuestos fenólicos, en sistemas de liberación controlada, como complejos de inclusión con ciclodextrinas o nanopartículas poliméricas. Esto permite mejorar la biodisponibilidad y estabilidad de estos compuestos, lo que se traduce en una mayor eficacia en la conservación de las fresas (23).

Adicionalmente, la combinación de diferentes estrategias de funcionalización, como la incorporación de compuestos orgánicos, inorgánicos y biológicos, puede resultar en un efecto sinérgico que mejore aún más el desempeño de los recubrimientos de quitosano, tal como se observó con los recubrimientos enriquecidos con extractos de cúrcuma y té verde, o con quitosano/celulosa bacteriana combinado con curcumina (25).

Si bien la funcionalización del quitosano ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la conservación de fresas, es necesario continuar investigando para optimizar las formulaciones y las condiciones de aplicación de estos recubrimientos, con el fin de garantizar su eficacia, inocuidad y viabilidad a escala industrial (26). Asimismo, se deben considerar factores como la

compatibilidad de los compuestos funcionales con el quitosano, la estabilidad del recubrimiento durante el almacenamiento y el impacto en las propiedades sensoriales de los frutos tratados.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta revisión de la literatura sugieren que el uso de recubrimientos a base de quitosano es una estrategia eficaz para extender la vida útil y mantener la calidad de las fresas frescas. En primer lugar, se ha demostrado que la adición de aceites esenciales, como el aceite de canela, a los compuestos de quitosano puede prolongar la vida útil de las fresas hasta 15 días a 5 °C y preservar las propiedades físicas y sensoriales. Esto se debe a que los aceites esenciales mejoran la protección de los tejidos. Retraso en la maduración y secado de frutos.

De igual forma, la funcionalización del quitosano y del extracto de *Andrographis paniculata* con nanopartículas de selenio o extractos naturales, como el extracto de cúrcuma y el té verde, ha demostrado ser eficaz para alargar la vida útil de las fresas durante 10 días y 8 días respectivamente. Esto se debe a la capacidad de estos compuestos para reducir el ataque bacteriano, reducir la decoloración oxidativa y retrasar la maduración de la fruta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Optar P, Título EL, De P, Montalbán BA, Alejandro M. Una revisión literaria de recubrimientos comestibles a base de quitosano y aceites esenciales en Berries. Repositorio Institucional - USS [Internet]. 2021 [cited 2025 Feb 22]; Available from: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/7949>
2. Adhikari M, Koirala S, Anal AK. Edible multilayer coating using electrostatic layer-by-layer deposition of chitosan and pectin enhances shelf life of fresh strawberries. Int J Food Sci Technol [Internet]. 2023 Jan 19 [cited 2025 Feb 22];58(2):871–9. Available from: <https://dx.doi.org/10.1111/ijfs.15704>
3. Quispe Herrera R, Vargas Oros LÁ, Mora Rios IE, Pulla Huilca PV, Paredes Valverde Y. Nutrición clínica y dietética hospitalaria. Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria [Internet]. 2020 Nov 27 [cited 2025 Feb 22];44(4):376–82. Available from: <https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/763>
4. UN EMPAQUE ACTIVO A BASE DE SUBPRODUCTOS DE *Daucus carota* E DE, Nanopartículas De Plata AY, Para Obtener Título De Q EL, Diana Fernanda Zambrano Arroyo P, Regalado González C. Elaboración de un empaque activo a base de subproductos de *Daucus carota*, almidón y nanopartículas de plata. 2024 May 17 [cited 2025 Feb 22]; Available from: <https://ring.uaq.mx/handle/123456789/10515>
5. Cheng C, Min T, Luo Y, Zhang Y, Yue J. Electrospun polyvinyl alcohol/chitosan nanofibers incorporated with 1,8-cineole/cyclodextrin inclusion complexes: Characterization, release kinetics and application in strawberry preservation. Food Chem. 2023 Aug 30;418:135652.
6. Duarte LGR, Ferreira NCA, Fiocco ACTR, Picone CSF. Lactoferrin-Chitosan-TPP Nanoparticles: Antibacterial Action and Extension of Strawberry Shelf-Life. Food Bioproc Tech [Internet]. 2023

- Jan 1 [cited 2025 Feb 22];16(1):135–48. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-022-02927-9>
7. Thambiliyagodage C, Jayanetti M, Mendis A, Ekanayake G, Liyanaarachchi H, Vigneswaran S. Recent Advances in Chitosan-Based Applications—A Review. *Materials* 2023, Vol 16, Page 2073 [Internet]. 2023 Mar 3 [cited 2025 Feb 22];16(5):2073. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/5/2073/htm>
 8. Liu X, Liao W, Xia W. Recent advances in chitosan based bioactive materials for food preservation. *Food Hydrocoll.* 2023 Jul 1;140:108612.
 9. Muñoz-Tebar N, Pérez-Álvarez JA, Fernández-López J, Viuda-Martos M. Chitosan Edible Films and Coatings with Added Bioactive Compounds: Antibacterial and Antioxidant Properties and Their Application to Food Products: A Review. *Polymers* 2023, Vol 15, Page 396 [Internet]. 2023 Jan 12 [cited 2025 Feb 22];15(2):396. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/2/396/htm>
 10. Shahidi F, Hossain A. Preservation of aquatic food using edible films and coatings containing essential oils: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2022 [cited 2025 Feb 22];62(1):66–105. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2020.1812048>
 11. México M, Magnolia R, Palma M, Angélica A, Pérez F, Contreras Padilla M. Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [Internet]. 2021 Jul 28 [cited 2025 Feb 22];5(4):4605–25. Available from: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/644/856>
 12. Christian D, Rivadeneira Barcia S. Elaboración de recubrimientos comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp) para la conservación de frutas y hortalizas. 2024 Feb 16 [cited 2025 Feb 22]; Available from: <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/19054>
 13. Lin D, Zhao Y. Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2007 Jun 1 [cited 2025 Feb 22];6(3):60–75. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1541-4337.2007.00018.x>
 14. Liu X, Xu Y, Liao W, Guo C, Gan M, Wang Q. Preparation and characterization of chitosan/bacterial cellulose composite biodegradable films combined with curcumin and its application on preservation of strawberries. *Food Packag Shelf Life.* 2023 Mar 1;35:101006.
 15. Guaña-Escobar F, Vaca-Tenorio M, Aguilar-Morales J. Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSA LUD-UNEMI* [Internet]. 2022 Jun 6 [cited 2025 Feb 22];6(10):18–32. Available from: <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1575>
 16. Matos G. CA. Revisión de literatura: Biopelículas a base de quitosano como potencial aplicación en empaque de alimentos [Internet]. 2020 [cited 2025 Feb 22]. Available from: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6907>
 17. Swarupa S, Thareja P. Techniques, applications and prospects of polysaccharide and protein based biopolymer coatings: A review. *Int J Biol Macromol.* 2024 May 1;266:131104.
 18. Phuong NTH, Koga A, Nkede FN, Tanaka F, Tanaka F. Application of edible coatings composed of chitosan and tea seed oil for quality improvement of strawberries and visualization of internal structure changes using X-ray computed tomography. *Prog Org Coat.* 2023 Oct 1;183:107730.
 19. Ke CL, Deng FS, Chuang CY, Lin CH. Antimicrobial Actions and Applications of Chitosan. *Polymers* 2021, Vol 13, Page 904 [Internet]. 2021 Mar 15 [cited 2025 Feb 22];13(6):904. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/6/904/htm>

20. Riaz A, Aadil RM, Amoussa AMO, Bashari M, Abid M, Hashim MM. Application of chitosan-based apple peel polyphenols edible coating on the preservation of strawberry (*Fragaria ananassa* cv Hongyan) fruit. *J Food Process Preserv* [Internet]. 2021 Jan 1 [cited 2025 Feb 22];45(1):e15018. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfpp.15018>
21. Córdoba Cox LC. Obtención y caracterización de una biopelícula a partir de residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Y aceite esencial de limón (*Citrus limon*) para el uso en alimentos. 2021 Sep 17 [cited 2025 Feb 22]; Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16730>
22. Solano-Doblado LG, Alamilla-Beltrán L, Jiménez-Martínez C, Solano-Doblado LG, Alamilla-Beltrán L, Jiménez-Martínez C. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista especializada en ciencias químico-biológicas* [Internet]. 2018 Aug 29 [cited 2025 Feb 22];21:30. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2018000421203&lng=es&nrm=iso&tlng=es
23. Thanh Huong QT, Hoai Nam NT, Duy BT, An H, Hai ND, Kim Ngan HT, et al. Structurally natural chitosan films decorated with *Andrographis paniculata* extract and selenium nanoparticles: Properties and strawberry preservation. *Food Biosci*. 2023 Jun 1;53:102647.
24. Yang C, Lu JH, Xu MT, Shi XC, Song ZW, Chen TM, et al. Evaluation of chitosan coatings enriched with turmeric and green tea extracts on postharvest preservation of strawberries. *LWT*. 2022 Jun 15;163:113551.
25. Zhang Y, Zhao W, Lin Z, Tang Z, Lin B. Carboxymethyl chitosan/sodium alginate hydrogel films with good biocompatibility and reproducibility by in situ ultra-fast crosslinking for efficient preservation of strawberry. *Carbohydr Polym*. 2023 Sep 15;316:121073.
26. Zidan NS, Aziz albalawi M, Alalawy AI, Al-Duais MA, Alzahrani S, Kasem M. Modification of edible chitosan/polyethylene glycol films fortified with date palm fruit waste extract as promising antimicrobial food packaging materials for fresh strawberry conservation. *Eur Polym J*. 2023 Jul 24;194:112171.