

Revisión bibliográfica

Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos

Yuliem Mederos-Torres^{1*}

Patricia Bernabé-Galloway²

Miguel Ángel Ramírez-Arrebato³

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

²Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Laboratorio de Polímeros. Calle Zapata s/n, entre G y Carlitos Aguirre, Vedado, La Habana, Cuba. CP 10400

³Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios". Km 1½ carretera La Francia, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22900

*Autor para correspondencia: yuliem@inca.edu.cu

RESUMEN

La conservación de los productos hortofrutícolas en la postcosecha es un tema de vital importancia debido a las grandes pérdidas que se generan durante la comercialización interna de un país, así como en la exportación. Estas pérdidas se deben al deterioro microbiológico y fisiológico, a un proceso de recolección inadecuado, al empleo de empaques no adecuados y a vías para la transportación insuficientes. El empleo de recubrimientos biodegradables en forma de películas constituye una alternativa que permite disminuir estas pérdidas. Los recubrimientos biodegradables generalmente están compuestos por carbohidratos, proteínas y lípidos de forma individual o combinados entre sí. Estos recubrimientos constituyen una barrera semipermeable al vapor de agua, el dióxigeno (O₂) y el dióxido de carbono (CO₂) entre los frutos y la atmósfera circundante. De manera general retardan el proceso de senescencia y el crecimiento microbiano en la superficie del fruto, lo que permite preservar la calidad y facilitar la distribución y la comercialización de estos. Por las potencialidades y la importancia que este tipo de tecnología presenta en la actualidad, en nuestro contexto nacional se realiza esta revisión, teniendo en cuenta los principales componentes empleados en la obtención de estos materiales, la aplicación práctica en productos hortofrutícolas y los principales análisis que se realizan para su caracterización.

Palabras clave: quitosana, pectina, almidón, proteínas, lípidos

Recibido: 08/01/2020

Aceptado: 16/03/2020

INTRODUCCIÓN

La conservación de los frutos en la postcosecha es un tema de vital importancia para la comercialización y la distribución de los mismos. Las pérdidas en postcosecha de los productos hortofrutícolas ascienden de un 5 a un 25 % en los países desarrollados, y de un 20 a un 50 % en los países en vías de desarrollo ⁽¹⁾. Generalmente estas pérdidas se deben al deterioro microbiológico y fisiológico, a un proceso de recolección inadecuado, al empleo de empaques no adecuados y vías para la transportación insuficientes. Para mitigar estas problemáticas se han desarrollado un grupo de alternativas como el almacenamiento a bajas temperaturas ⁽²⁾, la aplicación de radiaciones gamma y ultravioleta ⁽³⁾, la aplicación de controles biológicos ⁽⁴⁾, el empleo de atmosferas controladas y empaques plásticos ⁽⁵⁾, el empleo de la aminoetoxivinilglicina ⁽⁵⁾ y el 1-metil cloropropeno para retardar la maduración de los frutos ⁽²⁾, así como el uso de películas y recubrimientos biodegradables ⁽⁶⁾, entre otros.

En particular, el desarrollo de las películas y recubrimientos biodegradables para productos alimenticios frescos y procesados ha ganado auge en los últimos tiempos. Esto se debe a que esta tecnología es respetuosa del medio ambiente y puede mejorar la calidad de los alimentos, su bioseguridad y estabilidad. Estas características se logran al proporcionar una barrera semipermeable al vapor de agua, el dióxigeno (O₂) y el dióxido de carbono (CO₂) entre los frutos y la atmosfera circundante. Esta tecnología sirve como barrera protectora al reducir los procesos metabólicos como la respiración, retardar el proceso de senescencia y el crecimiento microbiano en la superficie del fruto, lo que permite preservar la calidad y facilitar la distribución y la comercialización de estos ⁽⁷⁾.

Los recubrimientos biodegradables deben ser libres de tóxicos y seguros para la salud, deben requerir una tecnología simple para su elaboración y proteger a los frutos de cualquier acción física, química o mecánica. Al mismo tiempo, deben ser transparentes y no pueden ser detectados durante el consumo ⁽⁸⁾. Los polisacáridos constituyen los principales componentes presentes en las películas y recubrimientos comestibles. Entre ellos podemos mencionar a las pectinas de alto y bajo metoxilo ⁽⁹⁾, la quitosana ⁽¹⁰⁾, la celulosa y sus derivados ⁽¹¹⁾, los extractos de algas (alginato ⁽¹²⁾, carragenina, agar ⁽¹³⁾) y la goma arábiga ⁽¹⁴⁾, entre otros. Algunos de los compuestos empleados son los lípidos como la cera de abeja ⁽¹⁵⁾, las ceras extraídas de las plantas de candelilla ⁽¹⁶⁾ y el laurel ⁽¹⁷⁾, así como las proteínas, tanto de fuentes animales (caseína ⁽¹⁸⁾, gelatina ⁽¹⁹⁾) como vegetales (gluten de trigo ⁽²⁰⁾, zeína ⁽²¹⁾, soya, maní y arroz ⁽¹²⁾), entre otros.

Estos compuestos pueden formar parte de las películas de forma individual o combinados entre sí. Además, pueden estar unidos a aditivos que mejoren las propiedades

antioxidantes, antimicrobianas y mecánicas de los recubrimientos para extender su vida útil y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos ⁽²²⁾. Teniendo en cuenta que estas películas han probado ser efectivas en lo concerniente a la seguridad alimentaria y la contaminación medioambiental, pudieran constituir una alternativa viable en el sector industrial. Cuba es un país rico en productos hortofrutícolas que se destinan tanto al consumo interno como a la exportación, por lo que contar con tecnologías que permitan alargar la vida útil de estos es de vital importancia. Por tal razón, el objetivo de este trabajo es lograr un acercamiento al estado del arte sobre las investigaciones acerca de las películas biodegradables basadas en polisacáridos que se utilizan como recubrimiento en la postcosecha, sus principales fuentes de obtención, características, análisis que se realizan y los principales productos hortofrutícolas en los que se emplean, con la finalidad de desarrollar una línea de obtención de recubrimientos biodegradables a partir de materias primas cubanas.

Las películas y los recubrimientos comestibles

Un recubrimiento biodegradable se puede definir como una matriz transparente, continua y delgada, que se crea alrededor de un alimento, generalmente mediante la inmersión del mismo en una disolución formadora del recubrimiento, con el fin de preservar su calidad y además servir de empaque ⁽⁸⁾. Una película biodegradable tiene forma de lámina sólida y se aplica envolviendo el producto en la misma ⁽²³⁾.

Los recubrimientos biodegradables activos mantienen la calidad y prolongan la vida útil de los frutos frescos y los vegetales, así como previenen el deterioro microbiano ⁽¹⁰⁾. El deterioro en los frutos es mayormente causado porque son biológicamente activos y en ellos ocurren procesos de transpiración (pérdida de humedad), respiración (intercambio de gases), maduración y otros procesos bioquímicos ⁽²⁴⁾.

Los recubrimientos biodegradables reducen la humedad y la migración de solutos. Su aplicación ofrece una solución plausible para obtener productos frescos, nutritivos y comestibles. Ellos sirven como barreras semipermeables a los gases y al vapor de agua, reduciendo la respiración y la pérdida de agua. Además, retrasan el deterioro y la senescencia de forma similar a las atmósferas modificadas ⁽²⁵⁾.

Los recubrimientos biodegradables deben cumplir con ciertas exigencias funcionales que les permiten controlar o aminorar las causas de la alteración en los alimentos a recubrir (Figura 1) ⁽²⁶⁻³¹⁾. Sin embargo, al recubrir un fruto u hortaliza para retardar la pérdida de humedad, es necesario que exista una cierta permeabilidad al O₂ y CO₂ para evitar una

respiración anaeróbica que podría inducir desórdenes fisiológicos y una pérdida rápida de la calidad y vida en anaquel de los mismos ⁽²³⁾.

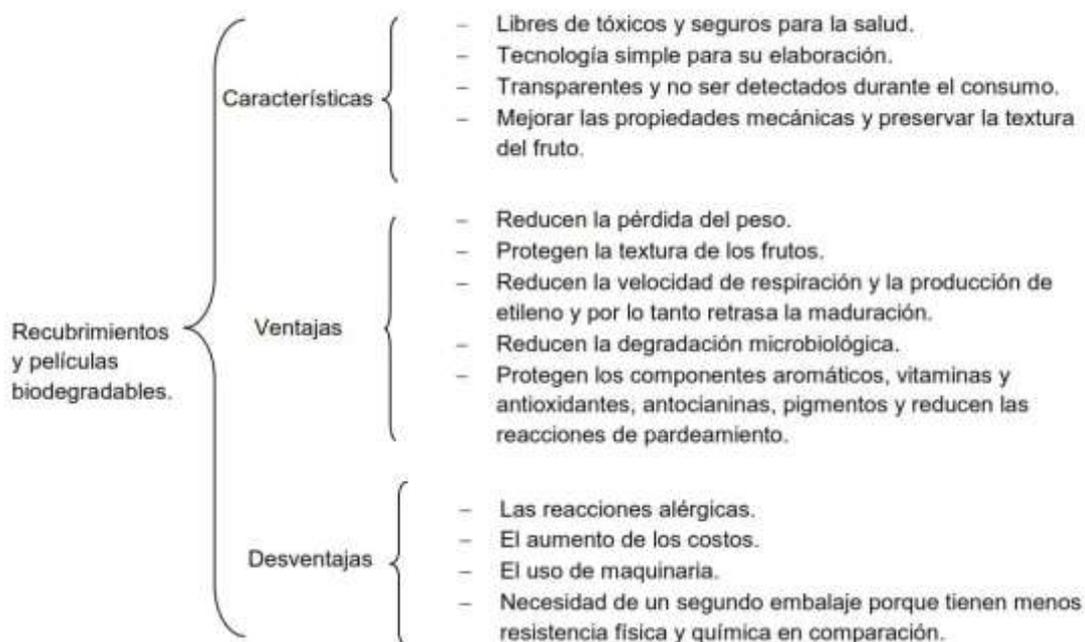


Figura 1. Características, ventajas y desventajas de los recubrimientos y películas biodegradables

Principales componentes de los recubrimientos y las películas biodegradables

Los principales componentes de los recubrimientos y películas biodegradables son los carbohidratos (azúcares y polisacáridos), las proteínas y los lípidos. Los polisacáridos son macromoléculas conformadas por monosacáridos unidas por enlaces glicosídicos y su hidrólisis produce un gran número de moléculas de uno o más azúcares simples (monosacáridos) o sus derivados ⁽³²⁾.

Los polisacáridos y las proteínas son polímeros que forman redes moleculares cohesionadas debido a una elevada interacción entre sus moléculas, lo que les confiere buenas propiedades mecánicas y de barrera a los gases O_2 y CO_2 , por lo cual retardan la respiración y el envejecimiento de muchas frutas y hortalizas ⁽⁷⁾. Estos compuestos han sido ampliamente utilizados en el procesamiento de alimentos, en nanotecnología, medicina, biotecnología y en la agricultura ⁽³³⁾. Su empleo en los recubrimientos biodegradables ha sido ampliamente documentado como se muestra en la Tabla 1. Estos compuestos le aportan a las películas y recubrimientos dureza, nitidez, compacidad, viscosidad y adhesividad ⁽¹³⁾. Las fuentes de obtención de los polisacáridos es muy variada, pueden ser de origen vegetal (pectinas, celulosas, almidón, alginato, carragenina, entre otros) y animal (quitina) ⁽¹²⁾.

Tabla 1. Clasificación de los materiales que forman las películas o recubrimientos biodegradables

Carbohidratos	Proteínas	Lípidos
Fuente animal: Quitosana ⁽¹⁰⁾	Fuentes animal: caseína ⁽¹⁸⁾ ,gelatina ⁽¹⁹⁾ .	Fuente animal: Cera de abeja ⁽¹⁵⁾
Fuente vegetal: Pectinas de alto y bajo metoxilo ⁽⁹⁾	Fuentes vegetales: zeína (maíz ⁽²¹⁾) soya, gluten(trigo) ⁽²⁰⁾ ,maní,	Fuentes vegetales: Cera de candelilla ⁽¹⁷⁾ Cera de laurel ⁽¹⁷⁾ .
Celulosa y sus derivados ⁽¹¹⁾	arroz ⁽¹³⁾	Cera de carnauba ⁽³⁶⁾
Almidón ⁽¹⁸⁾		Resinas y ácidos grasos:ácido
Goma arábica ⁽¹⁴⁾		esteárico ⁽³⁷⁾ , palmítico, láurico,
Los extractos de algas (alginato ⁽³⁴⁾ , carragenina ⁽³⁵⁾ , agar ⁽¹³⁾)		oleico ⁽³⁸⁾ y la mantequilla de coco ⁽³⁹⁾

Quitosana

La quitosana es uno de los polisacáridos más utilizados en la obtención de recubrimientos biodegradables. Su origen es a partir de la quitina, el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Es un polímero semisintético que se obtiene por desacetilación de la quitina, la cual se encuentra fundamentalmente en el exoesqueleto de crustáceos, aunque también se encuentra en menor proporción en las alas de algunos insectos, y en la pared celular de hongos, algas y otros ⁽¹⁰⁾. Desde el punto de vista químico, es un copolímero compuesto por unidades de N–glucosamina (D–GlcN) y N–Acetil glucosamina (D–GlcNAc) distribuidas al azar y unidas por enlaces glicosídicos β -(1-4) en una estructura rígida no ramificada. La quitosana se presenta como un material potencial para obtener recubrimientos biodegradables, mayormente por su capacidad para formar películas, su naturaleza no tóxica, su actividad antimicrobiana ⁽⁴⁰⁾, así como su biodegradabilidad y biocompatibilidad. Se reconoce que este polímero tiene propiedad desde barrera a los gases, por lo que asegura la disminución de la senescencia al evitar la respiración y la transpiración ⁽¹⁰⁾. Generalmente, la quitosana se disuelve en ácido acético, aunque también se ha utilizado el ácido láctico para estos fines ⁽⁴¹⁾.

La incorporación de un aditivo como el gluconato de calcio al recubrimiento a base de quitosana, incrementa el valor nutricional del fruto, debido a un aumento del contenido de calcio en este ⁽³⁸⁾. El calcio cumple un papel esencial en el mantenimiento estructural de las membranas y la pared celular. El entrecruzamiento del calcio con los grupos carboxilo libres en las cadenas de poligalacturonatos adyacentes presentes en la lamela media de la pared celular de las plantas, contribuye a la adhesión y cohesión entre las células ⁽⁴²⁾.

Es por ello que un tratamiento con calcio puede incrementar la estabilidad de la pared celular y mejorar la resistencia a las enzimas secretadas por hongos fitopatógenos,

mientras que el recubrimiento con quitosana reduce la respiración retrasando el proceso de maduración y el deterioro progresivo de los frutos producto de la senescencia.

Pectina

Otro de los polisacáridos utilizados en los recubrimientos comestibles es la pectina. Las pectinas se localizan mayoritariamente en la lamada media de la pared celular primaria de las plantas, donde contribuyen a la adhesión entre las células del parénquima de los vegetales y a la fortaleza de sus tejidos ⁽⁴³⁾. Está compuesta fundamentalmente por dos regiones, una región urónica; extensa y regular, formada por unidades de ácido galacturónico unidos por enlaces del tipo α -(1,4), los que pueden estar parcialmente metilados, y la segunda compuesta mayoritariamente por ramnosas que portan cadenas laterales de azúcares neutros ⁽⁴⁴⁾.

Las pectinas se utilizan extensivamente en los alimentos procesados como resultado de sus propiedades gelificantes ⁽⁴⁵⁾. En determinadas condiciones son capaces de formar geles, característica por la cual se consideran un importante aditivo en los jamones, las jaleas, las mermeladas, así como en la industria de confección. Actualmente, las fuentes agrícolas de pectina están subutilizadas, aun cuando la pectina es un ingrediente alimenticio potencialmente importante, disponible y abundante en los desechos agrícolas. Precisamente, su aplicación farmacéutica y el beneficio nutricional adicional en una gran variedad de productos alimenticios incrementan el interés por este polisacárido ⁽³⁹⁾.

Los estudios sobre películas de pectinada tan mayormente de los años 1930 hasta 1950 ⁽⁴⁶⁾. Estos estudios se enfocaron en pectinas derivatizadas y en el uso de cationes polivalentes como el calcio. El estudio de películas a partir de pectinas de bajos metoxilos (<11 %) muestra que la resistencia a la tensión decrece con el incremento de los grupos metoxilo ⁽⁴⁶⁾. Las características físicas del gel son consecuencia de la formación de una red tridimensional o del entrecruzamiento entre las moléculas del polímero ⁽⁴⁷⁾. Las pectinas de bajos metoxilo, derivadas por una desesterificación controlada, forman geles en presencia de iones calcio y pueden ser utilizadas para desarrollar películas biodegradables. La pectina es altamente hidrofílica, puesto que se compone de al menos 17 tipos de monosacáridos, entre los cuales el ácido D-galacturónico es el más abundante, seguido por la D-galactosa o la L-arabinosa, unidos entre sí de forma covalente ⁽⁴⁸⁾. Por lo que la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas de pectina sea bastante alta, en el mismo orden de magnitud que la del celofán y otras películas a base de carbohidratos ⁽⁵¹⁾.

En las últimas décadas se han estudiado las propiedades termomecánicas, microestructurales y viscoelásticas de películas a base de pectina, como la mezcla de pectina y almidón, llegando a la conclusión de que son altamente resistentes ⁽⁴⁹⁾.

Almidón

El almidón es otro de los carbohidratos empleados en el desarrollo de recubrimientos biodegradables de forma individual o combinado, es muy utilizado debido a su abundancia y bajo costo. El almidón es un polisacárido de reserva constituido a partir de amilosa y amilopectina. Los recubrimientos a base de almidón son transparentes, incoloros, inodoros y tienen baja permeabilidad al oxígeno⁽⁵⁰⁾. El almidón también se ha combinado con la carragenina para la formación de películas biodegradables altamente resistentes⁽⁵¹⁾.

Recubrimientos a base de quitosana y pectina

El carácter antimicrobiano en los recubrimientos biodegradables es un atributo muy deseado. En el caso de la quitosana, la actividad antimicrobiana se ha relacionado con la habilidad de este polímero para causar severos daños a nivel celular al micelio de los hongos tratados con este polímero⁽⁵²⁾. Sin embargo, se ha visto reforzada al combinarse con el sistema enzimático lactoperoxidasa en la conservación del mango⁽⁴¹⁾.

La lactoperoxidasa es un sistema excelente para combatir los microorganismos patogénicos y tiene un amplio espectro antimicrobiano. La combinación de quitosana al 1 % con el sistema enzimático lactoperoxidasa es eficaz contra la contaminación microbiana y permite retrasar la maduración de la fruta sin alterar su calidad⁽⁴¹⁾. También se ha empleado el complejo de Zinc II y Cerio IV con quitosana para preservar la fruta de azufaifa china, expandir la vida útil del fruto y reducir los residuos de pesticidas organofosforados.

El zinc es uno de los elementos micrometálicos esenciales más importantes en el cuerpo humano. Es un componente esencial en un número importante de proteínas y es indispensable para la estabilidad de las funciones catalíticas. Los iones cerio tienen una buena capacidad antibiótica⁽⁵³⁾. A su vez, la quitosana se ha combinado con aceites esenciales de hierba de limón en la conservación del pimiento contra la antracnosis⁽⁵⁴⁾, y de tomillo, canela y clavo en la conservación de la papaya frente a los hongos *P. digitatum* y *C. Gloeosporioides* donde propicia una mayor inhibición micelial en los estudios *in vitro* a una concentración de quitosana de 0,5 y 1 %⁽³⁸⁾.

En el caso de los recubrimientos a base de pectina se han incorporado aceites esenciales de canela⁽¹⁵⁾, limón, naranja⁽⁹⁾ y nanoemulsiones de cinnamaldeído⁽⁵⁵⁾, entre otros. Otro ejemplo es la modificación de la superficie de películas de polipropileno (PP) por multicapas de quitosano/pectina. En estas películas, la quitosana forma un complejo polielectrolito con la pectina, lo que posibilita la formación de una estructura estable de

capas múltiples en la superficie de la película de PP, con la consiguiente formación de películas antimicrobianas mucho mejores que pueden ser utilizadas para fabricar excelentes materiales de embalaje para la protección de cultivos postcosecha ⁽⁵⁶⁾.

En general, los recubrimientos a base de polisacáridos como la quitosana y la pectina constituyen una pobre barrera a la humedad por el carácter hidrofílico que presentan. Es por ello que muchos trabajos se han encaminado a la combinación de estos polímeros con lípidos, resinas y ácidos grasos (Tabla 1), con el objetivo de regular el balance hidrofílico - lipofílico ⁽³⁹⁾.

Los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos, presentan excelentes propiedades de barrera frente a la humedad, aunque su falta de cohesividad e integridad estructural resultan en malas propiedades mecánicas, lo que conduce a la formación de recubrimientos quebradizos. Los lípidos reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior y pueden mejorar el brillo y la apariencia de muchos alimentos ⁽⁸⁾.

Otros aditivos: proteínas y plastificantes

Las proteínas constituyen otro de los componentes empleados en los recubrimientos biodegradables. Entre las proteínas utilizadas para la producción de estos se destacan la caseína, la zeína y la gelatina entre otros. La caseína ha ganado protagonismo en el desarrollo de los recubrimientos por estar disponible comercialmente, tener la capacidad para actuar como un emulsificante, ser soluble en agua ⁽⁵⁷⁾ y producir recubrimientos transparentes y térmicamente estables ⁽¹⁸⁾. La combinación de la caseína y el almidón junto al glicerol y el extracto de barbatimón se han empleado en la conservación de la guayaba. Este recubrimiento alarga la vida útil de las guayabas, reduce la pérdida de peso y firmeza ⁽¹⁸⁾.

Otro de los ejemplos es la formación de películas biodegradables a partir de proteína de la quínoa enlazada con quitosana, formando películas resistentes sin el empleo de plastificantes, la adición de aceite esencial de girasol, mejora la permeabilidad al vapor de agua como resultado de las interacciones hidrofóbicas ⁽⁵⁸⁾. La zeína es una proteína de almacenamiento que se encuentra en los granos de maíz. Esta proteína tiene la característica de prevenir la oxidación y el desarrollo de los malos olores por sus excelentes propiedades de barrera de gases frente al oxígeno y el dióxido de carbono ⁽⁵⁹⁾. Las películas de gelatina tienen propiedades efectivas como barrera de gases frente al oxígeno y el dióxido de carbono ⁽⁶⁰⁾.

Los plastificantes son sustancias no volátiles, de alto punto de ebullición, que cuando se añaden a otro material cambian las propiedades físicas o mecánicas de este ⁽³⁹⁾. Los polioles como el sorbitol y el glicerol plastifican efectivamente por su habilidad de

reducir el enlace interno de hidrógeno mientras incrementan el espaciado intermolecular. Estos plastificantes disminuyen las fuerzas intermoleculares a lo largo de la cadena del polímero, incrementando la flexibilidad de la película mientras decrecen sus propiedades de barrera ⁽⁶¹⁾. También se han utilizado plastificantes en la obtención de recubrimientos biodegradables, tales como el sorbitol ⁽⁶¹⁾, glicerol ⁽⁶²⁾, polietilenglicol ⁽³⁷⁾ y el puré de fruta bomba ⁽⁵⁵⁾.

La proporción en la que se encuentran los componentes en los recubrimientos es importante. Un estudio sobre la influencia de la cantidad de pectina y plastificante en las propiedades mecánicas del fruto reveló que un incremento de la cantidad de pectina y una disminución de la cantidad de plastificante incrementa la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad, mientras que el alargamiento a la ruptura se incrementa con el incremento de la concentración de ambos ⁽⁶¹⁾. De igual forma, un incremento de la concentración de pectina y plastificante afecta la PVA, debido al carácter hidrofílico de ambos compuestos. Sin embargo, la combinación con un lípido como la cera de abeja disminuye la PVA. A bajas concentraciones el lípido añadido incrementa la hidrofobicidad por lo que decrece la permeabilidad de la película. En concentraciones más altas, los lípidos podrían dar como resultado glóbulos más grandes durante la etapa de secado en la obtención de la película, contribuir a la interrupción de la estructura continua de las películas, y consecuentemente a una mayor PVA ⁽⁶³⁾.

Los estudios de recubrimientos formados a partir de metilcelulosa, ácido esteárico y polietilenglicol realizados por un método de emulsión, revelan que el incremento del volumen de ácido esteárico hasta un 22 % provoca una disminución de la PVA ⁽³⁷⁾. Sin embargo, el incremento del volumen de ácido esteárico por encima del 22 % con lleva a un aumento de la PVA, atribuido a un llenado inadecuado del volumen vacío al interior de los cristales de ácido esteárico por la matriz de metilcelulosa, lo que favorece la migración de la humedad. Por otro lado, el incremento de la PVA en películas de pectina y sorbitol a altas concentraciones de ambos, tal vez puede deberse a una mayor heterogeneidad producto de la distribución de glóbulos lipídicos (número de poblaciones) dentro de la matriz de pectina ⁽⁶¹⁾.

Aplicaciones prácticas de los recubrimientos y películas biodegradables

Los frutos y las verduras son una fuente invaluable de vitaminas y minerales en la dieta diaria de los humanos. Una adecuada conservación de estos, permite alargar la vida útil en la postcosecha. Los recubrimientos y las películas biodegradables han sido empleados

con gran éxito en la conservación de la guayaba (*Psidium guajava* L.)⁽⁶⁴⁾, la fruta bomba (*Carica papaya* L.)⁽⁶⁵⁾, el mango (*Mangifera indica* L.)⁽⁶⁶⁾, la naranja mandarina (*Citrusreticula* L.)⁽⁶⁷⁾, la fresa (*Fragaria ananassa* Duch)⁽⁵⁸⁾, el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)⁽⁶⁸⁾, el pimiento (*Capsicum annuum* L.)⁽⁵⁴⁾ y el pepino (*Cucumis sativus* L.)⁽²⁷⁾ entre otros.

La aplicación práctica de los recubrimientos en la mayoría de los casos reduce la pérdida del peso y la tasa de maduración, e incrementa la vida útil de los frutos (Tabla 2). En el proceso de maduración durante el almacenamiento ocurren una serie de cambios físicos y bioquímicos que varían en función del tipo de fruto⁽⁹⁾. Entre los cambios podemos encontrar la modificación del color a través de la alteración en el contenido de clorofilas, carotenoides y la acumulación de los flavonoides. A su vez, la modificación de la textura producto a la alteración del turgor celular y de la estructura de la pared celular por el metabolismo. Así como, la modificación de carbohidratos, ácidos orgánicos y compuestos volátiles, que afectan la calidad nutricional, el sabor y el aroma del fruto. Por último y no menos importante el aumento en la susceptibilidad al ataque de patógenos oportunistas que están asociados a la pérdida de integridad de la pared celular⁽²⁴⁾.

Se reconoce que durante el proceso de maduración se incrementan los sólidos solubles totales (SST) debido al proceso de respiración⁽⁹⁾, durante el cual ocurre la degradación de los carbohidratos y los ácidos orgánicos (ascórbico, cítrico y málico) producto a la utilización de estos como sustrato en el proceso de respiración⁽⁵⁴⁾. El incremento del contenido de SST y la reducción de la acidez valorable constituyen indicadores del proceso de maduración⁽⁶⁹⁾.

En el caso del tomate los recubrimientos a base de pectina incrementan la retención de ácido ascórbico, acidez valorable y azúcares totales durante el almacenamiento respecto al control⁽⁶⁵⁾. Estos resultados son positivos pues indican un retraso en la maduración producto a la acción del recubrimiento, ya que limitan la permeabilidad al oxígeno, reduciendo la oxidación del ácido ascórbico, y limitando el empleo del ácido cítrico como sustrato en el proceso de respiración.

La combinación quitosana-ácido salicílico ha sido estudiada en la conservación de pepino a bajas temperaturas 2 °C⁽²⁷⁾. Este estudio muestra que la combinación disminuye el daño que las bajas temperaturas causan en la superficie del pepino y que la acción combinada supera a la de los componentes de forma individual. La quitosana-ácido salicílico también reduce la pérdida de peso y la tasa de respiración, provoca incrementos en el contenido de malondialdehído y la fuga de electrolitos, y mantiene un mayor contenido de SST, clorofila y ácido ascórbico.

Tabla 2. Recubrimientos y películas biodegradables aplicadas a los frutos

Aplicación	Composición de las películas y recubrimientos biodegradables.	Función	Referencia
Guayaba	Quitosana 1 %, ácido acético	Extensión de la vida útil del fruto.	(64)
	Caseína, almidón, glicerol y extracto de barbatimón	Reduce la pérdida de peso y firmeza. Retrasa el proceso de maduración al	(18)
Fruta bomba	Quitosana 2 %, ácido acético 0,5 %, Tween 80.	inhibir las tasas de respiración.	(70)
Tomate	Quitosana 0,25 %		(68)
	Pectina 3 %, agua		(65)
	Quitosana 1 %, zeolita($\emptyset = 35\text{-}45\mu\text{m}$), ácido láctico, Tween 80	Retarda la maduración del fruto, pero es una pobre barrera a la pérdida de peso	(71)
Mango	Acetato de quitosana 20 %	Reducción de la incidencia de	(66)
Pepino	Quitosana 1,5 %, aloe vera 1,5 %	antracnosis. Retrasa el proceso de maduración.	(72)
	Pectina altamente metoxilada 2 %, cera de abeja, sorbitol y agua	Extensión de la vida útil del fruto, reducción de las tasas de respiración. Reduce la pérdida de peso y firmeza	(27)
Mandarina	Pectina 8 % y agua	Extensión de la vida útil del fruto. Reduce la pérdida de peso y firmeza	(67)
Pimiento	Quitosana 1 %, NaOH 1M, aceite esencial de hierba de limón 0,5 %, Tween 80	Reducción de la incidencia de antracnosis. Retrasa el proceso de maduración.	(54)
Fresa	Pectina 1%, glicerol 0,02 %, aceite esencial de limón 1 y 0,5 %	Extensión de la vida útil del fruto. Reduce la pérdida de peso y firmeza	(9)
	Proteína de quinoa 0,1 %-quitosana 2% en ácido cítrico-aceite esencial de girasol 2,9 %	Extensión de la vida útil del fruto. Reduce la pérdida de peso y firmeza. Reduce el crecimiento de moho y levadura	(58)

Tanto la zeína como la gelatina han sido probadas exitosamente en la conservación postcosecha del mango ⁽⁵⁹⁾. Ambas proteínas combinadas con glicerol afectan positivamente la pérdida de peso, los SST, la acidez valorable, el pH, el contenido de azúcares totales y el contenido de carotenoides. Adicionalmente mantienen el contenido de fenoles totales y el ácido ascórbico en niveles altos comparados con el control ⁽⁵⁹⁾.

Al realizar aplicaciones prácticas de los recubrimientos es necesario tener en cuenta la concentración del carbohidrato o el componente en cuestión. Una concentración de quitosana al 1,5 % inhibe el crecimiento de los hongos durante el periodo de almacenamiento en la conservación de la fruta bomba, mientras que el incremento por encima del 2 % conlleva a una maduración inadecuada ⁽⁷⁰⁾.

En resumen, la aplicación de los recubrimientos biodegradables a los frutos y productos hortofrutícolas es sumamente importante porque alargan la vida de anaquel, permitiendo una mejora en la transportación y comercialización de estos. Este tipo de tecnología en nuestro país es sumamente atractiva para la conservación de los frutos exportables como la piña, el mango y el aguacate, así como, para la comercialización interna de la gran variedad de frutas y vegetales que se producen en nuestro mercado interno y para el abastecimiento de nuestras instalaciones turísticas.

Principales características físico-químicas a evaluar en las películas y recubrimientos comestibles

Dentro de las características físicas a evaluar en los recubrimientos se encuentran el espesor de las películas a partir de la medida con un micrómetro ⁽¹⁶⁾. La determinación de la viscosidad permite estudiar las propiedades de flujo a distintas concentraciones de los polímeros. Generalmente para este análisis se emplea un reómetro para medir la viscosidad y las propiedades viscoelásticas de disoluciones a diferentes concentraciones de los polímeros ⁽⁶¹⁾. Los estudios de la superficie de las películas se realizan por microscopía electrónica de barrido ⁽⁷³⁾ o de fuerza atómica ⁽⁷⁴⁾, y la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) permite identificar cambios estructurales realizados en los polímeros a partir de los cambios en las bandas de absorción características de los mismos ⁽¹⁰⁾. Estas técnicas permiten realizar un análisis estructural de la superficie de la película que brinda información sobre la composición de la misma. Otro de los análisis a realizar es la permeabilidad al vapor de agua.

Este análisis es sumamente importante en los recubrimientos comestibles porque una baja permeabilidad retarda la pérdida de peso en el fruto, para ello se han desarrollado métodos gravimétricos entre los que se encuentra la norma ASTM E96-93 ⁽⁷⁵⁾. Este procedimiento se basa en la desecación previa de la membrana o película en un contenedor impermeable y la posterior puesta en contacto de este contenedor con nitrato de magnesio para mantener la humedad relativa de las películas al 53 %, posteriormente se guardan en desecadoras manteniendo la humedad relativa (HR) en 0 % con ayuda de un agente desecante como el cloruro de calcio a 25 °C. La tasa de transmisión al vapor de agua dividida entre la diferencia de presión de vapor a través de la película constituye la permeabilidad de la película ⁽⁶¹⁾. La permeabilidad multiplicada por el espesor de la película es la transmisión al vapor de agua ⁽⁷⁵⁾.

Otro de los procedimientos es la norma ASTM E96/E96M-10 ⁽⁷⁶⁾ con algunas modificaciones, donde las membranas de 3 cm de diámetro, previamente almacenadas al menos durante 72 horas en una desecadora, se colocan en recipientes que contienen

silicagel en su interior y se sellan herméticamente, cuidando que solo la membrana quede expuesta al vapor de agua. Los recipientes se pesan y se introducen en una desecadora que contiene una disolución saturada de KCl, que proporciona una actividad de agua constante e igual a 0,8434 a 25 °C. Posteriormente se coloca la desecadora en una cámara a temperatura constante. Los recipientes se extraen y se pesan en balanza analítica cada 24 horas. El cálculo de PVA se realiza a partir de la pendiente de la gráfica de la variación de la masa en el tiempo con el empleo de la (Ecuación 1). Se considera que el experimento concluye cuando no se observan incrementos en el peso de los recipientes.

$$PVA = \frac{\Delta m}{\Delta t} \times A \quad (1)$$

Donde $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ es la pendiente de la gráfica de peso en el tiempo y A es el área efectiva de la membrana en contacto con los vapores de agua⁽⁷⁷⁾. La resistencia a la tensión (τ) es una de las propiedades mecánicas que se realizan para verificar la resistencia de las películas. Se lleva a cabo en un analizador de textura⁽¹⁶⁾. En este análisis las muestras se estiran hasta la ruptura y la fuerza resultante se divide por la sección transversal de la película y τ se expresa en MPa. Además, la capacidad de estiramiento hasta la ruptura (CE) se calcula en porcentaje, con la (Ecuación 2), donde L_i y L_f son las longitudes inicial y final de las películas, expresadas en milímetros (mm)⁽¹⁶⁾.

$$CE = \left(\frac{L_f - L_i}{L_i} \right) * 100 \quad (2)$$

CONCLUSIONES

- Los recubrimientos biodegradables presentan una gran importancia en el manejo de la postcosecha de los productos hortofrutícolas. Generalmente para su formación se emplea el uso de polímeros de diversas fuentes naturales como la pectina, la quitosana, el almidón, los derivados de celulosa entre otros, combinados con lípidos, emulsificadores y plastificantes.
- La gran variedad de polisacáridos obtenidos a partir de diversas fuentes vegetales y animales, así como la combinación de estos con otros aditivos que permiten mejorar las características de estos recubrimientos, extienden la posibilidad de infinitas combinaciones de estos compuestos, con vistas a lograr los mejores resultados.
- El empleo de los recubrimientos biodegradables contribuye a incrementar la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas, lo que constituye una tecnología útil y prometedora en la conservación de los frutos en la postcosecha de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gustavsson J, Cederberg C, Sonesson U, Emanuelsson A. The methodology of the FAO study: “Global Food Losses and Food Waste -extent, causes and prevention”-FAO, 2011. [Internet]. The Swedish Institute for Food and Biotechnology; 2013 p. 70. Report No.: 857. Available from: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944159/FULLTEXT01.pdf>
2. Guzmán T, Cuenca K, Tacuri E. Caracterización de la poscosecha de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) tratada con 1-metilciclopropeno. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2018;27(1):66-75.
3. Khan QU, Mohammadzai I, Shah Z, Ihsanullah, Khattak TN, Noreen H, et al. Effect of Gamma Irradiation on Nutrients and Shelf Life of Peach (*Prunus persical*) Stored at Ambient Temperature. The Open Conference Proceedings Journal. 2018;9(1). doi:10.2174/2210289201809010008
4. Sivakumar D, Zeeman K, Korsten L. Effect of a biocontrol agent (*Bacillus subtilis*) and modified atmosphere packaging on postharvest decay control and quality retention of litchi during storage. Phytoparasitica. 2007;35(5):507-18. doi:10.1007/BF03020609
5. Ozturk B, Uzun S, Karakaya O. Combined effects of aminoethoxyvinylglycine and MAP on the fruit quality of kiwifruit during cold storage and shelf life. Scientia Horticulturae. 2019;251:209-14. doi:10.1016/j.scienta.2019.03.034
6. Núñez-Castellano K, Castellano G, Ramírez-Méndez R, Sindoni M, Marin RC. Efecto del cloruro de calcio y una cubierta plástica sobre la conservación de las propiedades organolépticas de la fresa (*Fragaria X Ananassa* Duch). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 2012;13(1):21-30.
7. Dickinson E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. Food Hydrocolloids. 2009;23(6):1473-82. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.08.005
8. Fernández D, Bautista S, Fernández D, Ocampo A, García A, Falcón A. Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2015;24(3):52-7.
9. Abdi S, Rooin Z, Erfanimoghadam J, Aziznia S. Application of Pectin Coating Containing Essential Oil for Increasing Quality of Strawberry Fruit. Journal of Postharvest Technology. 2017;05(4):83-94.
10. Nisha V, Monisha C, Ragunathan R, Johnney J. Use of Chitosan as Edible Coating on Fruits and in Micro biological Activity - An Ecofriendly Approach. International Journal of Pharmaceutical Science Invention. 2016;5(8):7-14.

11. Arnon H, Zaitsev Y, Porat R, Poverenov E. Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 2014;87:21-6. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.08.007
12. Paula GA, Benevides NMB, Cunha AP, de Oliveira AV, Pinto AMB, Morais JPS, et al. Development and characterization of edible films from mixtures of κ -carrageenan, ι -carrageenan, and alginate. *Food Hydrocolloids*. 2015;47:140-5. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.01.004
13. Mellinas C, Valdés A, Ramos M, Burgos N, Garrigós M del C, Jiménez A. Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*. 2016;133(2). doi:10.1002/app.42631
14. Etemadipoor R, Ramezani A, Dastjerdi AM, Shamili M. The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*. 2019;251:101-7. doi:10.1016/j.scienta.2019.03.021
15. Moalemiyan M, Ramaswamy HS. Quality Retention and Shelf-life Extension in Mediterranean Cucumbers Coated with a Pectin-based Film. *Journal of Food Research*. 2012;1(3):159-68. doi:10.5539/jfr.v1n3p159
16. Lozano-Grande MA, Valle-Guadarrama S, Aguirre-Mandujano E, Lobato-Calleros CSO, Huelitl-Palacios F, Lozano-Grande MA, et al. Películas basadas en emulsiones de pectina de frutos de tejocote (*Crataegus* spp.) y cera de candelilla: caracterización y aplicación en *Pleurotus ostreatus*. *Agrociencia*. 2016;50(7):849-66.
17. Andrade J, Acosta D, Bucheli M, Luna GC. Elaboración y evaluación de un recubrimiento comestible para la conservación postcosecha del tomate de árbol *Cyphomandra betacea* Cav. Sendt. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 2013;30(2):60-72.
18. Remor A, Cardoso D, Caetano J, Botin C, Ferreira L. Conservação de goiabas com revestimentos comestíveis de amido e caseína com extrato de barbatimão. *Revista Engenharia na Agricultura*. 2018;26(4):295-305. doi:10.13083/reveng.v26i4.928
19. Matta Fakhouria F, Martelli SM, Caon T, Velasco JI, Innocentini Mei LH. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 2015;109:57-64. doi:10.1016/j.postharvbio.2015.05.015
20. Tanada-Palmu PS, Grosso CRF. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*. 2005;36(2):199-208. doi:10.1016/j.postharvbio.2004.12.003

21. Escamilla-García M, Calderón-Domínguez G, Chanona-Pérez JJ, Farrera-Rebollo RR, Andraca-Adame JA, Arzate-Vázquez I, et al. Physical and structural characterisation of zein and chitosan edible films using nanotechnology tools. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013;61:196-203. doi:10.1016/j.ijbiomac.2013.06.051
22. Pranoto Y, Salokhe VM, Rakshit SK. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International*. 2005;38(3):267-72. doi:10.1016/j.foodres.2004.04.009
23. Falguera V, Quintero JP, Jiménez A, Muñoz JA, Ibarz A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*. 2011;22(6):292-303. doi:10.1016/j.tifs.2011.02.004
24. Martínez-González ME, Balois-Morales R, Alia-Tejacal I, Cortes-Cruz MA, Palomino-Hermosillo YA, López-Gúzman GG. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2017;8(spe19):4075-87. doi:10.29312/remexca.v0i19.674
25. Xing Y, Li X, Xu Q, Jiang Y, Yun J, Li W. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010;11(4):684-9. doi:10.1016/j.ifset.2010.07.006
26. Okcu Z, Yavuz Y, Kerse S. Edible Film and Coating Applications in Fruits and Vegetables. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi*. 2018;33(2):221-6. doi:10.28955/alinterizbd.368362
27. Zhang Y, Zhang M, Yang H. Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. *Food Chemistry*. 2015;174:558-63. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.106
28. Salinas-Roca B, Soliva-Fortuny R, Welte-Chanes J, Martín-Belloso O. Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping to improve fresh-cut mango safety and quality. *Food Control*. 2016;66:190-7. doi:10.1016/j.foodcont.2016.02.005
29. Guerreiro AC, Gago CML, Faleiro ML, Miguel MGC, Antunes MDC. The effect of edible coatings on the nutritional quality of 'Bravo de Esmolfe' fresh-cut apple through shelf-life. *LWT*. 2017;75:210-9. doi:10.1016/j.lwt.2016.08.052
30. Pagliarulo C, Sansone F, Moccia S, Russo GL, Aquino RP, Salvatore P, et al. Preservation of strawberries with an antifungal edible coating using peony extracts in chitosan. *Food and Bioprocess Technology*. 2016;9(11):1951-60. doi:10.1007/s11947-016-1779-x
31. Badawy MEI, Rabea EI, El-Nouby MAM, Ismail RIA, Taktak NEM. Strawberry shelf life, composition, and enzymes activity in response to edible chitosan coatings.

- International Journal of Fruit Science. 2017;17(2):117-36.
doi:10.1080/15538362.2016.1219290
32. Griffin RW. Química orgánica moderna. Reverte; 1981. 610 p.
33. Parvin N, Kader MA, Huque R, Molla ME, Khan MA. Extension of shelf-life of tomato using irradiated chitosan and its physical and biochemical characteristics. International Letters of Natural Sciences. 2017;67:16-23.
doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.67.16
34. Rozo G, Gómez D, Rozo C. Efecto de una biopelícula de alginato en la conservación de cebolla larga (*Allium fistulosum* L.). Vitae. 2016;23(1):419-23.
35. Esguerra EB, Ocfemia GS, Pamulaklakin JA (Philippines ULB. Postharvest behaviour of 'carabao' mango fruits coated with chitosan and carrageenan. En: Philippine Journal of Crop Science (Philippines) [Internet]. 2000 [cited 24/10/2019]. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH2001100580>
36. Singh S, Khemariya P, Rai A, Rai AC, Koley TK, Singh B. Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits. LWT - Food Science and Technology. 2016;74:420-6.
doi:10.1016/j.lwt.2016.08.004
37. Sapru V, Labuza TP. Dispersed phase concentration effect on water vapor permeability in composite methyl cellulose-stearic acid edible films. Journal of Food Processing and Preservation. 1994;18(5):359-68. doi:10.1111/j.1745-4549.1994.tb00259.x
38. Hernández López M, Guillén Sánchez J, Bautista Baños S, Guillén Sánchez D. Evaluación de películas biodegradables en el control de hongos postcosecha de la papaya. Cultivos Tropicales. 2018;39(1):52-60.
39. Maftoon Azad N. Evaluation of edible films and coatings for extending the postharvest shelf life of avocado. 2006 [cited 22/10/2019]; Available from:http://digitool.library.mcgill.ca/R/?func=dbin-jump-full&object_id=102678&local_base=GEN01-MCG02
40. Varun TK, Senani S, Jayapal N, Chikkerur J, Roy S, Tekulapally VB, et al. Extraction of chitosan and its oligomers from shrimp shell waste, their characterization and antimicrobial effect. Veterinary World. 2017;10(2):170-5.
doi:10.14202/vetworld.2017.170-175
41. Cissé M, Polidori J, Montet D, Loiseau G, Ducamp-Collin MN. Preservation of mango quality by using functional chitosan-lactoperoxidase systems coatings.

- Postharvest Biology and Technology. 2015;101:10-4. doi:10.1016/j.postharvbio.2014.11.003
42. Bakshi P, Masoodi FA, Chauhan GS, Shah TA. Role of calcium in post-harvest life of temperate fruits: a review [Internet]. Journal of Food Science and Technology Mysore. 2005 [cited 22/10/2019]. Available from:<https://eurekamag.com/research/004/306/004306809.php>
43. Ridley BL, O'Neill MA, Mohnen D. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*. 2001;57(6):929-67. doi:10.1016/s0031-9422(01)00113-3
44. Inngjerdingen M, Inngjerdingen KT, Patel TR, Allen S, Chen X, Rolstad B, et al. Pectic polysaccharides from *Biophytum petersianum* Klotzsch, and their activation of macrophages and dendritic cells. *Glycobiology*. 2008;18(12):1074-84. doi:10.1093/glycob/cwn090
45. Stephen AM. Other Plant Polysaccharides. En: Aspinall GO, editor. *The Polysaccharides* [Internet]. Academic Press; 1983 [cited 23/10/2019]. p. 97-193. doi:10.1016/B978-0-12-065602-8.50008-X
46. Schultz TH, Miers JC, Owens HS, Maclay WD. Permeability of Pectinate Films to Water Vapor. *The Journal of Physical and Colloid Chemistry*. 1949;53(9):1320-30. doi:10.1021/j150474a002
47. Guo J-H, Skinner GW, Harcum WW, Barnum PE. Pharmaceutical applications of naturally occurring water-soluble polymers. *Pharmaceutical Science & Technology Today*. 1998;1(6):254-61. doi:10.1016/S1461-5347(98)00072-8
48. Yapo BM, Robert C, Etienne I, Wathelet B, Paquot M. Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*. 2007;100(4):1356-64. doi:10.1016/j.foodchem.2005.12.012
49. Fishman ML, Coffin DR, Konstance RP, Onwulata CI. Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. *Carbohydrate Polymers*. 2000;41(4):317-25. doi:10.1016/S0144-8617(99)00117-4
50. Yan Q, Hou H, Guo P, Dong H. Effects of extrusion and glycerol content on properties of oxidized and acetylated corn starch-based films. *Carbohydrate Polymers*. 2012;87(1):707-12. doi:10.1016/j.carbpol.2011.08.048
51. Thakur R, Saberi B, Pristijono P, Golding J, Stathopoulos C, Scarlett C, et al. Characterization of rice starch- κ -carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;93:952-60. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.09.053
52. Bautista-Baños S, Hernández-Lauzardo AN, Velázquez-del Valle MG, Hernández-López M, Ait Barka E, Bosquez-Molina E, et al. Chitosan as a potential natural compound

- to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection*. 2006;25(2):108-18. doi:10.1016/j.cropro.2005.03.010
53. Wu H, Wang D, Shi J, Xue S, Gao M. Effect of the Complex of Zinc(II) and Cerium(IV) with Chitosan on the Preservation Quality and Degradation of Organophosphorus Pesticides in Chinese Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58(9):5757-62. doi:10.1021/jf100537k
54. Ali A, Noh NM, Mustafa MA. Antimicrobial activity of chitosan enriched with lemongrass oil against anthracnose of bell pepper. *Food Packaging and Shelf Life*. 2015;3:56-61. doi:10.1016/j.fpsl.2014.10.003
55. Otoni CG, Moura MR de, Aouada FA, Camilloto GP, Cruz RS, Lorevice MV, et al. Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin/papaya puree/cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films. *Food Hydrocolloids*. 2014;41:188-94. doi:10.1016/j.foodhyd.2014.04.013
56. Elsabee MZ, Abdou ES, Nagy KSA, Eweis M. Surface modification of polypropylene films by chitosan and chitosan/pectin multilayer. *Carbohydrate Polymers*. 2008;71(2):187-95. doi:10.1016/j.carbpol.2007.05.022
57. Shendurse A, Gopikrishna G, Patel A, Pandya A. Milk protein based edible films and coatings—preparation, properties and food applications. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering [Internet]*. 2018 [cited 10/10/2019];8(2). doi:10.15406/jnhfe.2018.08.00273
58. Valenzuela C, Tapia C, López L, Bungler A, Escalona V, Abugoch L. Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria×ananassa*) quality. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2015;18(6):406-11. doi:10.1016/j.ejbt.2015.09.001
59. Gol NB, Rao TVR. Influence of zein and gelatin coatings on the postharvest quality and shelf life extension of mango (*Mangifera indica* L.). *Fruits*. 2014;69(2):101-15. doi:10.1051/fruits/2014002
60. Jiang M, Liu S, Du X, Wang Y. Physical properties and internal microstructures of films made from catfish skin gelatin and triacetin mixtures. *Food Hydrocolloids*. 2010;24(1):105-10. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.08.011
61. Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Marcotte M. Evaluation of factors affecting barrier, mechanical and optical properties of pectin-based films using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*. 2007;30:539-63.

62. Maftoonazad N, Ramaswamy HS. Application and Evaluation of a Pectin-Based Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-Life Extension of Lime Fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*. 2019;9(5):285. doi:10.3390/coatings9050285
63. Kamper SL, Fennema O. Water Vapor Permeability of Edible Bilayer Films. *Journal of Food Science*. 1984;49(6):1478-81. doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb12825.x
64. Krishna KR, Rao DVS. Effect of chitosan coating on the physicochemical characteristics of guava (*Psidium Guajava* L.) fruits during storage at room temperature. *Indian Journal of Science and Technology*. 2014;7(5):554-558-558. doi:10.17485/ijst/2014/v7i5/49467
65. Felix ED, Mahendran T. Active packaging of green mature tomatoes with pectin coating to extend the shelf life. *Journal of Science-Eastern University*. 2009;6(1):1-9.
66. Mulkey-Vitón T. Efecto de sales de quitosano en la calidad poscosecha del mango Tommy Atkins. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(3):135-41.
67. Placido GR, Silva RM, Silva M a. P, Furtado DC, Santos MG, Caliarí M, et al. Use of pectin in the postharvest conservation of tangerine. *African Journal of Biotechnology* [Internet]. 2014 [cited 23/10/2019];13(52). doi:10.5897/AJB2014.14111
68. Sucharitha KV, Beulah AM, Ravikiran K. Effect of chitosan coating on storage stability of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). *International Food Research Journal*. 2018;25(1):93-9.
69. Mali S, Grossmann MVE. Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003;51(24):7005-11. doi:10.1021/jf034241c
70. Ali A, Muda Muhammad MT, Sijam K, Siddiqui Y. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry*. 2011;124:620-6. doi:10.1016/j.foodchem.2010.06.085
71. García M, Casariego A, Díaz R, Roblejo L. Effect of edible chitosan/zeolite coating on tomatoes quality during refrigerated storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2014;238-46. doi:10.9755/ejfa.v26i3.16620
72. Adetunji CO, Fadiji AE, Aboyeji OO. Effect of chitosan coating combined Aloe vera gel on cucumber (*Cucumis sativa* L.) post-harvest quality during ambient storage. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*. 2014;5(6):391-7.
73. Liu L, Jin T, Liu C-K, Hicks K, Mohanty AK, Bhardwaj R, et al. A preliminary study on antimicrobial edible films from pectin and other food hydrocolloids by extrusion method. *Journal of Natural Fibers*. 2008;5(4):366-82. doi:10.1080/15440470802460643
74. Elsabee M, Abdou E, Nagy K, Eweis M. Surface modification of polypropylene films by chitosan and chitosan/pectin multilayer. *Carbohydrate Polymers*. 2008;71:187–195. doi:10.1016/j.carbpol.2007.05.022

75. ASTM. Standard test methods for water-vapor transmission of materials [Internet]. Philadelphia: E96-93, 1993 [cited 26/10/2019]. Available from:<https://users.encs.concordia.ca/~raojw/crd/reference/reference000277.html>
76. ASTM E96. Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials [Internet]. West Conshohocken: E96M-10, 2010 [cited 29/10/2019]. doi:10.1520/E0096_E0096M-10
77. Bernabé-Galloway P. Estudio físico-químico del complejo polielectrolitoquitosanapectina: Obtención y caracterización de sus membranas. [Tesis Doctoral]. [La Habana, Cuba.]: Universidad de la Habana; 2015. 102 p.