

UNIVERSIDAD DE
Belgrano

BUENOS AIRES - ARGENTINA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DE ARÁNDANOS

Implementación de recubrimientos comestibles en arándanos azules como tecnología postcosecha para extender su vida útil y mejorar su calidad y valor nutricional.

Tesina de grado para optar por el título de:
Licenciada en Ciencias Químicas

NUCIFORA, MARÍA VIRGINIA

(Matrícula: 2491)

Tutora: Patricia A. Della Rocca

Año: 2021

AGRADECIMIENTOS

A mis docentes y, en especial, a mi tutora, Patricia A. Della Rocca, por compartirme sus conocimientos y por la asesoría brindada durante la realización de esta investigación.

A mi director de carrera, Daniel Bacelo, por la paciencia y el tiempo a lo largo de estos 5 años compartidos.

A mis padres, Laura Marcela Alonso y Andrés Alberto Nucifora, por su apoyo incondicional en cada paso que doy, ayudándome en todo lo que está a su alcance. Gracias por creer en mí y darme fuerzas en aquellos momentos de dificultad.

A mi hermana, María Laura Nucifora, por motivarme y guiarme con su energía positiva.

A mis amigos por haberme prestado un oído y brindado un consejo cada vez que lo necesité.

A mis compañeros de trabajo por sus palabras de aliento en todo momento para finalizar este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que han formado parte de este largo camino ayudando directa o indirectamente a que mis objetivos profesionales se cumplan.

RESUMEN

El cultivo de arándanos en Argentina constituye un agronegocio exitoso, en auge en los últimos años, dado que, por nuestra ubicación geográfica, se produce en contra estación con respecto a los principales productores mundiales (Estados Unidos y algunos países de Europa). Esta fruta del tipo baya se caracteriza por sus propiedades nutraceuticas, especialmente, sus efectos antioxidantes capaces de contrarrestar el daño que provocan los radicales libres.

Para aprovechar de manera eficiente sus componentes bioactivos lo mejor es consumirlos frescos. Por ello, debido a su alta perecibilidad y las necesidades de exportación, los arándanos requieren de tratamientos postcosecha para ralentizar los procesos naturales de deterioro que ocurren durante su maduración y senescencia. Puntualmente, su vida útil se encuentra limitada por dos importantes factores: la pérdida de peso por la respiración y deshidratación del fruto, y la incidencia de enfermedades, principalmente, la podredumbre gris ocasionada por el moho *Botrytis cinérea*.

Si bien existen diversas tecnologías postcosecha para prolongar la vida útil de alimentos frutihortícolas, este trabajo se centra en la investigación sobre el diseño y aplicación de recubrimientos comestibles biodegradables. Estos pueden crear una atmósfera modificada entorno al fruto capaz de disminuir la tasa de respiración, retrasar la deshidratación, controlar el crecimiento microbiano y mantener la calidad, contribuyendo así al cuidado ambiental. Generalmente, se formulan en base a diferentes biomateriales (polisacáridos, proteínas, lípidos y mezclas de estos) y con el agregado de diversos aditivos, según las funcionalidades que se quieran otorgar. Se pueden agregar plastificantes, emulsionantes y otros numerosos aditivos como compuestos extraídos de los aceites esenciales que actúan como antimicrobianos y antioxidantes de forma simultánea, prebióticos, probióticos, entre otros.

En vistas de utilizar esta tecnología a escala industrial, se evalúa la funcionalidad de todos los recubrimientos encontrados en la bibliografía analizada, su seguridad y toxicidad, y su análisis sensorial, además de analizar la normativa vigente. Se examinan las ventajas y desventajas de cada uno de los ingredientes activos y queda demostrado que todos, en mayor o menor medida, son efectivos para la conservación de los arándanos. Sin embargo, también queda en evidencia que para su implementación a escala industrial se requieren posteriores investigaciones. Principalmente, el desafío consiste en lograr un recubrimiento de espesor uniforme y perdurable que se adhiera adecuadamente sobre toda la superficie del fruto en un lote completo. Para ello, es muy importante identificar el método de aplicación adecuado para determinada cubierta.

En base a la información obtenida, finalmente, se propone evaluar dos formulaciones de recubrimientos comestibles aplicadas mediante pulverización electrostática sobre los arándanos. En un caso, se apunta netamente a extender la vida útil del fruto con un recubrimiento base de carboximetil quitosano y pululano adicionado con un componente bioactivo como el carvacrol; y,

en el otro caso, a diseñar un alimento funcional agregando al recubrimiento base constituido principalmente por carragenina κ o pectina de bajo metoxilo, probióticos encapsulados.

Palabras clave: *arándanos, recubrimientos comestibles, biopolímeros, vida útil, calidad postcosecha.*

ABSTRACT

Blueberries cultivation in Argentina constitutes a successful agribusiness, booming in recent years, given that, due to our geographical location, it occurs in the off-season with respect to the main world producers (United States and some European countries). This berry-type fruit is characterised by its nutraceutical properties, especially its antioxidant effects capable of counteracting the damage caused by free radicals.

To efficiently take advantage of their bioactive components, it is best to consume them fresh. Therefore, due to their high perishability and export needs, blueberries require post-harvest treatments to slow down the natural deterioration processes that occur during ripening and senescence. Specifically, their shelf life is limited by two important factors: weight loss due to fruit respiration and dehydration, and the incidence of diseases, mainly grey rot caused by the mould *Botrytis cinerea*.

Although there are several post-harvest technologies available to extend shelf-life of fruit and vegetables, this work focuses on research on the design and application of biodegradable edible coatings. These can create a modified atmosphere around the fruit capable of decreasing the respiration rate, delaying dehydration, controlling microbial growth and maintaining quality, thus contributing to environmental care. Generally, these are formulated based on different biomaterials (polysaccharides, proteins, lipids and mixtures of these) and with the addition of various additives, depending on the functionalities that are required. Plasticizers, emulsifiers and numerous other additives can be added, such as compounds extracted from essential oils that act simultaneously as antimicrobials and antioxidants, prebiotics, probiotics, among others.

To use this technology on an industrial scale, the functionality of all the coatings found in the analyzed literature, their safety and toxicity, and their sensory analysis are evaluated, in addition to analysing current regulations. The advantages and disadvantages of each of the active ingredients are examined and it is demonstrated that all of them, to a greater or lesser extent, are effective for blueberries preservation. However, further research is needed for their implementation on an industrial scale. The main challenge is to achieve a uniform and lasting thickness coating with an adequate adhesion on the entire surface of the fruit over a whole batch. To achieve this, it is very important to find the right application method for a given coating.

Based on the information obtained, it is proposed to evaluate two formulations of edible coatings applied by electrostatic spraying on blueberries. In one case, the aim is to extend the shelf life of the fruit with a coating based on carboxymethyl chitosan and pullulan with the addition of a bioactive component such as carvacrol; and, in the other case, it's to design a functional food by adding encapsulated probiotics to the base coating consisting mainly of carrageenan κ or low methoxyl pectin.

Keywords: *blueberries, edible coatings, biopolymers, shelf life, postharvest quality.*

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
TABLA DE CONTENIDOS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE GRÁFICOS	8
LISTA DE ABREVIATURAS	9
1 ANTECEDENTES	11
1.1 IMPORTANCIA DEL CONSUMO DE FRUTAS Y EXTENSIÓN DE SU VIDA ÚTIL ..	11
1.2 PREVIAS INVESTIGACIONES.....	12
2 INTRODUCCIÓN.....	15
2.1 ARÁNDANOS.....	15
2.2 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO	17
2.3 ESTRUCTURA DE LAS BAYAS	18
2.4 COMPOSICIÓN DE LAS BAYAS.....	19
2.5 BENEFICIOS PARA LA SALUD	22
2.6 PRODUCCIÓN DE ARÁNDANOS	24
2.7 MERCADO DE ARÁNDANOS	27
2.8 PROBLEMÁTICA DEL SECTOR	28
2.9 TECNOLOGÍAS POSTCOSECHA.....	30
3 OBJETIVO GENERAL	34
4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
5 MARCO TEORICO.....	36
5.1 CALIDAD DE LOS ARÁNDANOS.....	36
5.2 FISIOLOGÍA DE LA MADURACIÓN	37
5.2.1 ENFERMEDADES EN ARÁNDANOS POSTCOSECHA.....	40
5.3 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	43
5.3.1 PROPIEDADES Y REQUERIMIENTOS	44
5.3.2 COMPOSICIÓN DE LOS RCs	46
5.3.2.1 HIDROCOLOIDES	46
5.3.2.1.1 Quitosano	48
5.3.2.1.2 Alginatos.....	50

5.3.2.1.3	Pectina.....	53
5.3.2.1.4	Nanofibras de celulosa.....	57
5.3.2.1.5	Hidroxipropilmetilcelulosa.....	59
5.3.2.1.6	Carragenina.....	60
5.3.2.1.7	Pululano.....	61
5.3.2.1.8	Gel de <i>Aloe</i> spp.....	63
5.3.2.2	LÍPIDOS.....	66
5.3.2.2.1	Cera de abeja.....	66
5.3.2.2.2	Cera de carnauba.....	68
5.3.2.3	MEZCLAS.....	69
5.3.3	MÉTODOS DE APLICACIÓN.....	69
5.3.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	72
5.3.5	ADITIVOS.....	73
5.3.5.1	Aceites esenciales.....	73
5.3.5.2	Procianidinas.....	74
5.3.5.3	Acíbar.....	76
5.3.5.4	Extracto de propóleo.....	78
5.3.5.5	Nanopartículas inorgánicas.....	79
5.3.5.6	Nisina.....	81
5.3.5.7	Probióticos y prebióticos.....	82
6	MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
6.1	METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA.....	85
6.2	SELECCIÓN DE ARTÍCULOS.....	85
7	RESULTADOS.....	87
8	DISCUSIÓN.....	94
8.1	MATERIAL DE BASE PARA LA FORMULACIÓN DE RCs.....	94
8.2	ADITIVOS.....	98
8.3	VIABILIDAD.....	105
9	PROPUESTAS.....	107
10	CONCLUSIÓN.....	114
11	BIBLIOGRAFÍA.....	117

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VACCINIUM CORYMBOSUM L: ASPECTO GENERAL DEL ARBUSTO (A) Y LOS FRUTOS/BAYAS (B).	15
FIGURA 2: CALENDARIO DE COSECHA SEGÚN LA VARIEDAD.	17
FIGURA 3: CORTE TRANSVERSAL DE LAS BAYAS E IDENTIFICACIÓN DEL PERICARPIO Y SUS ESTRATOS.	19
FIGURA 4: ESTRUCTURA QUÍMICA (A) DE LAS ANTOCIANIDINAS COMUNES Y (B) DE LA ANTOCIANINA MAYORITARIA EN ARÁNDANOS AZULES: MALVIDINA-3-O-GALACTÓSIDO.	21
FIGURA 5: CALENDARIO MUNDIAL DE PRODUCCIÓN DE ARÁNDANOS.	26
FIGURA 6: MICELIO (A) Y ESTRUCTURAS REPRODUCTIVAS (B) DE BOTRYTIS CINÉREA EN FRUTOS DE ARÁNDANO.	41
FIGURA 7: ANTRACNOSIS EN ARÁNDANOS: (A) FRUTOS DESHIDRATADOS Y CON ACÉRVULOS ANARANJADOS, (B) EPIDERMIS DEL FRUTO CON ESTADOS REPRODUCTIVOS DE COLLETOTRICHUM ACUTATUM.	41
FIGURA 8: MICELIO Y ESPORANGIOS DE RHIZOPUS EMERGIENDO DESDE UNA HERIDA.	42
FIGURA 9: (A) ARÁNDANOS CONTAMINADOS POR ALTERNARIA TENUISSIMA Y (B) DESHIDRATACIÓN Y DESARROLLO DE CONIDIAS NEGRAS CAUSADAS POR ALTERNARIA.	42
FIGURA 10: REACCIÓN DE DESACETILACIÓN DE LA QUITINA PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO, ESQUEMATIZANDO LA ESTRUCTURA QUÍMICA DE CADA UNO DE ELLOS.	48
FIGURA 11: (A) ESTRUCTURA QUÍMICA DE LOS MONÓMEROS DEL ALGINATO: ÁCIDO B-D-MANURÓNICO (IZQUIERDA) Y ÁCIDO A-L-GULURÓNICO (DERECHA). (B) CONFORMACIÓN DE LA CADENA DE ALGINATO. (C) EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS BLOQUES DE ALGINATO.	51
FIGURA 12: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA INTERACCIÓN ENTRE EL CATIÓN DIVALENTE CALCIO Y LOS MONÓMEROS G DEL ALGINATO BASADA EN EL MODELO DE GELIFICACIÓN DE "CAJA DE HUEVOS".	52
FIGURA 13: A) ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ESQUELETO DE LA PECTINA; B) ESQUEMA TRADICIONAL DE LA ESTRUCTURA DE LA PECTINA INCLUYENDO LOS 3 DOMINIOS: EL HG COMO CADENA CARBONADA PRINCIPAL INTERCALADO CON LAS REGIONES RAMIFICADAS (RG I Y RG II).	54
FIGURA 14: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MECANISMO DE GELIFICACIÓN DE (A) PECTINAS DE ALTO Y (B) BAJO METOXILO.	55
FIGURA 15: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA (A) 4-D-GLUCOSA Y (B) LA CELULOSA.	57
FIGURA 16: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA FIBRA DE CELULOSA DONDE SE MUESTRAN LAS REGIONES CRISTALINAS Y AMORFAS.	58
FIGURA 17: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA HIDROXIPROPILMETILCELULOSA.	59
FIGURA 18: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LAS CARRAGENINAS TIPO KAPPA (K), LOTA (I) Y LAMBDA (Λ).	60
FIGURA 19: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA FORMACIÓN DEL GEL.	61
FIGURA 20: ESTRUCTURA QUÍMICA DEL PULULANO CON MALTOTRIOSAS COMO UNIDAD REPETITIVA.	62
FIGURA 21: ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ACEMANANO.	64

FIGURA 22: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS MÉTODOS DE APLICACIÓN DE RCs SOBRE ALIMENTOS: (A) INMERSIÓN, (B) PULVERIZACIÓN Y (C) CEPILLADO.	70
FIGURA 23: ESTRUCTURA QUÍMICA DEL (A) TRANS-CINAMALDEHÍDO, (B) EL CARVACROL Y (C) EL TIMOL.	74
FIGURA 24: ESTRUCTURA QUÍMICA DE: (A) LOS ANILLOS DE LOS FLAVONOIDES Y SU SISTEMA DE NUMERACIÓN, (B) LOS FLAVANOL (+)-CATEQUINA Y (-)-EPICATEQUINA, (C) LAS PROCIANIDINAS DE TIPO B CON ENLACE INTERFLAVAN C4→C8, (D) LAS PROCIANIDINAS DE TIPO B CON ENLACE INTERFLAVAN C4→C6, Y (E) LAS PROCIANIDINAS DE TIPO A.....	75
FIGURA 25: ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA (A) ALOÍNA A Y (B) EL ALOE-EMODIN.....	77
FIGURA 26: ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA NISINA.....	81

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ARÁNDANO AZUL SOBRE BASE DE 100 G PESO FRESCO.....	20
TABLA 2: CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN LAS BAYAS.....	21
TABLA 3: COMPOSICIÓN DE LA CERA DE CARNAUBA.	68
TABLA 4: PROCIANIDINAS DE MAYOR FRECUENCIA.	76
TABLA 5: ESTUDIOS SOBRE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES APLICADOS EN ARÁNDANOS AZULES.	87
TABLA 6: PARÁMETROS DE PROCESO PARA ALCANZAR UNIFORMIDAD DE CUBIERTA.	110

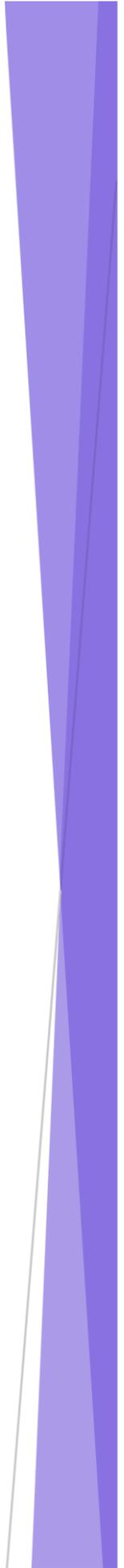
LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ARÁNDANOS ARGENTINOS EN EL ÚLTIMO SEXENIO.	25
GRÁFICO 2: PRODUCCIÓN ANUAL DEL 2019 DE LOS PRINCIPALES PRODUCTORES Y DE ARGENTINA.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC	Comité Argentino de Arándanos, por sus siglas en inglés
AEs	Aceites esenciales
APAMA	Asociación de Productores de la Mesopotamia Argentina
AT	Acidez titulable
BAL	Bacterias ácido-lácticas
CMCS	Carboximetil quitosano
CNFs	Nanofibras de celulosa, por sus siglas en inglés
CVR	Carvacrol
ECIN	Trans-cinamaldehído
EEP	Extracto etanólico de propóleo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés
FDA	Administración de Medicamentos y Alimentos, por sus siglas en inglés
GRAS	Generalmente Reconocida como Segura
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulosa
HR	Humedad relativa
INS	Sistema de Numeración Internacional para Aditivos Alimentarios, por sus siglas en inglés
MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
NEA	Noreste Argentino
NOA	Noroeste Argentino
NPs	Nanopartículas
OLE	Extracto de hojas de olivo, por sus siglas en inglés
OMS	Organización Mundial de la Salud
PCs	Películas comestibles
POD	Enzima peroxidasa
PPO	Enzima polifenol-oxidasa
RCs	Recubrimientos comestibles
SINAMIVO	Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas
SST	Sólidos solubles totales
UE	Unión Europea

1. ANTECEDENTES



1 ANTECEDENTES

1.1 IMPORTANCIA DEL CONSUMO DE FRUTAS Y EXTENSIÓN DE SU VIDA ÚTIL

La importancia del consumo habitual de frutas frescas y el creciente interés de los consumidores por alimentos frescos de alta calidad, ha impulsado notablemente el consumo de frutas en la población. El único reparo de este estilo de vida es que las frutas frescas son perecederas, algunas mucho más que otras, pero, indefectiblemente, luego de la cosecha continúan sus procesos metabólicos hasta su deterioro. A raíz de esto, miembros de cadenas de abastecimiento plantearon la necesidad de establecer un adecuado manejo postcosecha con el propósito de satisfacer las necesidades de los consumidores y disminuir el enorme desperdicio de frutas y verduras por podredumbre. Esto implica desarrollar estrategias innovadoras de conservación orientadas a minimizar los cambios en los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales que se desarrollan en estos productos vegetales tras la recolección, de forma tal de contribuir al cuidado del medio ambiente y a mejorar la calidad de vida de la sociedad, además de fortalecer la competitividad en los mercados.

El consumo de frutas resulta beneficioso para la salud no solo por su aporte de vitaminas y minerales sino también por su alto contenido en otros compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos. Una dieta rica en frutas ayuda a mejorar el estado general de salud y a prevenir enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, distintos tipos de cáncer, etc. (Yao, y otros, 2004; Scalbert, Manach, Morand, Remesy, & Jiménez, 2005). Este efecto protector, altamente valorado por los consumidores, está relacionado en gran medida con la capacidad antioxidante de distintos compuestos, entre los que encontramos la vitamina C y los fenoles, ya que previenen o disminuyen la velocidad de los procesos oxidativos que intervienen en numerosas patologías. Puntualmente los arándanos, que son los que competen a este trabajo, presentan distintas familias de compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, catequinas, flavonoles y antocianinas que han mostrado tener una gran actividad antioxidante (Sellappan, Akoh, & Krewer, 2002).

Tales son los beneficios de los productos frutihortícolas que hasta la Organización Mundial de la Salud (OMS) impulsa el incremento en el consumo de frutas y hortalizas. Así surgió la estrategia 5 al día que promueve el consumo de 5 raciones diarias de estas. Teniendo esto en cuenta, tecnologías postcosecha que permitan conservar los productos vegetales por más tiempo son necesarias, sobre todo, debido a las grandes pérdidas económicas que se generan que afectan la rentabilidad del sector. Estas se deben, principalmente, a la reducción en el valor de mercado de los frutos cuando estos no se encuentran en su óptima calidad, y a las pérdidas sustanciales de alimento que se generan por las inadecuadas prácticas en el momento de la cosecha, y las derivadas del acondicionamiento y tratamientos posteriores.

Por otro lado, además, los mercados se han ido sofisticando y los consumidores cada vez están más interesados en la composición de los alimentos, sus propiedades nutraceuticas, sabor, color, aroma, etc. Por esta razón, si bien en la cadena de valor de los productos frutihortícolas todos los puntos son críticos, es importante tomar acción específicamente en la postcosecha considerando que a partir de aquí se presentan los procesos indeseables que afectan todos estos aspectos y repercuten en la calidad del producto final.

En este contexto, el tratamiento individual de los productos frutihortícolas, en particular los recubrimientos comestibles (RCs) formulados a base de diversos hidrocoloides, proteínas o lípidos, constituyen una alternativa prometedora a nivel comercial para abordar esta problemática. Su principal funcionalidad es actuar como vehículo de ingredientes activos como antioxidantes, antimicrobianos y mejoradores de textura que pueden servir como conservantes, mejorar la calidad del producto y extender su vida útil. Así, la implementación de estos representa un beneficio tanto para el sector, pudiendo distribuir la producción a mayores distancias, con menor costo del transporte y ofreciendo un producto de mayor calidad, como para los consumidores que adquieren un producto a la altura de sus exigencias.

1.2 PREVIAS INVESTIGACIONES

A lo largo de los últimos años se han realizado numerosos estudios probando inmensa cantidad de distintos RCs sobre diferentes frutas y vegetales. Puntualmente, dentro del conocido grupo de los frutos rojos o frutos del bosque que incluye a los arándanos, se han realizado pruebas sobre cerezas y frutillas obteniendo resultados muy favorables. De hecho, respecto a las cerezas, existe un recubrimiento comestible comercial denominado Semperfresh®. Este fue desarrollado por AgriCoat Industries Ltd. del Reino Unido para retardar la senescencia no solo de estas, sino también de manzanas, peras y algunos cítricos.

Semperfresh® es un tratamiento que puede aplicarse antes y después de la cosecha para proteger los productos contra los trastornos fisiológicos y mecánicos. Específicamente, crea una atmósfera modificada entorno a la superficie de la fruta que ralentiza la respiración y disminuye la deshidratación de los frutos por su naturaleza hidrofóbica, permitiendo, en el caso de las cerezas, su comercialización hasta un mes después de la cosecha (Sanidad Medioambiental Agroalimentaria, S. L., s.f.). Está formulado a base de ésteres azucarados de ácidos grasos que son ingredientes aprobados en todo el mundo por la OMS, la USA Food and Drug Administration (FDA) y la Unión Europea (EU). Además, es insípido, biodegradable y respetuoso con el medio ambiente (AgriCoat NatureSeal, s.f.).

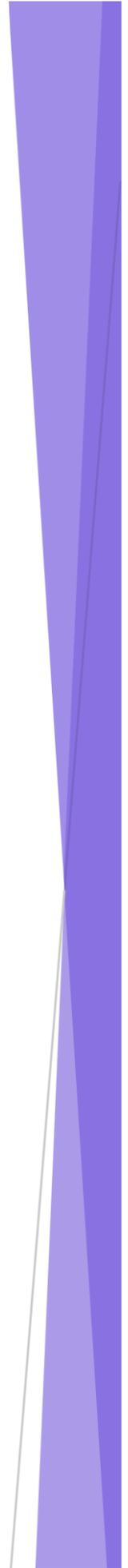
Aparte de Semperfresh®, distintos autores han aplicado recubrimientos comestibles con la finalidad de prolongar la vida útil de cerezas. En el año 2019, Zam publicó un trabajo titulado “Effect of Alginate and Chitosan Edible Coating Enriched with Olive Leaves Extract on the Shelf Life of Sweet Cherries (*Prunus avium* L.)” en el Journal of Food Quality. En él evaluó la influencia

del quitosano al 1% y del alginato al 3% enriquecidos con extracto de hojas de olivo (OLE) sobre la calidad de las cerezas dulces durante el almacenamiento a temperatura ambiente ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) y humedad relativa del $65 \pm 5\%$ por 20 días. Los resultados obtenidos indicaron que ambos recubrimientos son eficaces para prolongar la vida útil de las cerezas dulces, pero, puntualmente, las cerezas recubiertas con quitosano combinado con OLE presentaron mayor contenido de compuestos fitoquímicos, por ende, mayor actividad antioxidante.

En ese mismo año, García-Figueroa, Ayala-Aponte, & Sánchez-Tamayo estudiaron RCs de gel de *Aloe vera* y alginato de sodio, mezclados en diferentes proporciones y con el agregado de glicerol como agente plastificante, sobre fresas durante el almacenamiento refrigerado a $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ por 12 días. La eficiencia de estos fue evaluada a través de la evolución de la calidad organoléptica y nutricional de las frutas durante el almacenamiento, y la uniformidad y características del recubrimiento obtenido. En este caso, también se logró reducir la pérdida de peso de las frutas, sobre todo con la menor concentración del gel en la mezcla. Sumado a ello, el RC pudo retener el color y la acidez titulable de las fresas en comparación con las muestras sin recubrimiento (control).

Como se puede ver en los ejemplos citados, la implementación de RCs que contienen sustancias naturales con propiedades funcionales similares a los aditivos sintéticos constituye una tecnología que está en continuo crecimiento en el mercado. No solo porque brinda la posibilidad de mejorar la calidad de los productos alimenticios, sino que también enriquece su valor nutricional. De allí es que surge el interés en estudiar el uso de esta tecnología postcosecha en arándanos, considerando la importancia de la exportación de estos frutos para la Argentina, tanto a nivel económico como de reconocimiento en el mundo.

2. INTRODUCCIÓN



2 INTRODUCCIÓN

2.1 ARÁNDANOS

Los arándanos son plantas pertenecientes al género *Vaccinium*, familia Ericaceae, nativas del hemisferio norte, específicamente del este de Estados Unidos. Se trata de un cultivo no tradicional perteneciente al grupo de las frutas finas. Este último está comprendido por especies frutales que se caracterizan por su reducido tamaño en comparación con otras frutas como, por ejemplo, las cítricas, de carozo o de pepita. Dentro de este grupo se pueden distinguir dos subgrupos: berries, de sabores acidulados y rápida percibibilidad, y cherries, frutos de menor tamaño que las frutas de carozo (Bruzzone, 2007). El primero involucra arándanos, frambuesas rojas, moras y zarzamoras arbustivas, grosellas y frutillas, y el segundo, cerezas y guindas.

El arándano, es una baya esférica con un diámetro que oscila entre 0.5 - 1.6 cm según la variedad (BlueBerries Argentina, s.f.a). Crece en arbustos perennes de gran longevidad, con altura variable y porte erecto o rastrero según la especie. El color de las bayas depende de su variedad: se pueden distinguir arándanos azules y arándanos rojos, estos últimos pertenecientes al subgénero *Oxycoccus*, que algunos botánicos consideran como un género aparte. Por su parte, las hojas son alternas, de forma ovada a lanceolada y color verde pálido, además de ser caducas, es decir, se pierden durante el receso invernal, adquiriendo una tonalidad rojiza en el otoño. Las flores poseen corola acampanada blanca, con tonos rosas en algunos cultivares, y se reúnen en racimos de 6 a 10 en cada yema.

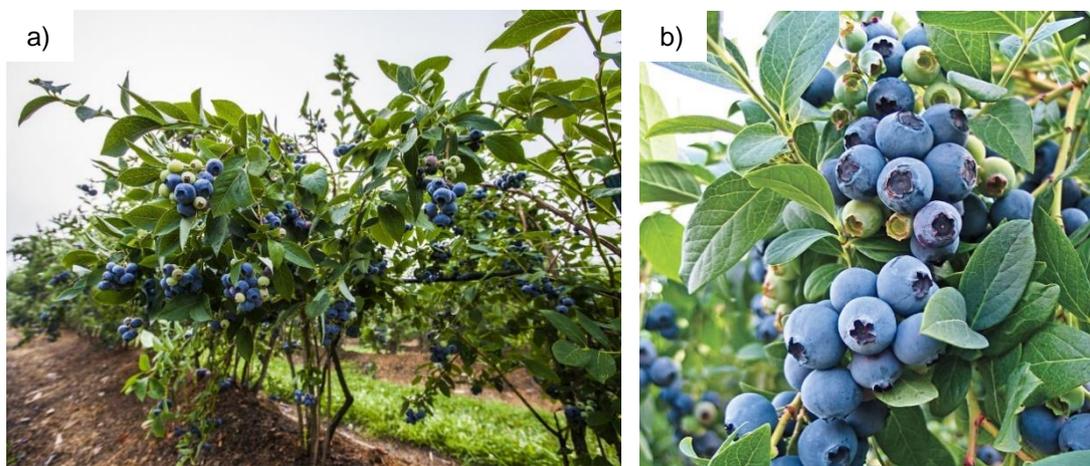


Figura 1: *Vaccinium corymbosum* L: Aspecto general del arbusto (a) y los frutos/bayas (b).

Fuente: Blueberry (s.f.) y O'Neal Southern Highbush Blueberry Plant (s.f.).

En este trabajo se hará hincapié en los arándanos azules que son aquellos cultivados en nuestro país. Morfológicamente, estos son más pequeños que los arándanos rojos y su epidermis, en lugar de ser brillante como la de estos últimos, se encuentra cubierta por secreciones cerosas de color blanquecino denominadas pruina que le dan una terminación muy

atractiva, además de proteger el fruto. El color de las bayas puede variar desde azul intenso a negro dependiendo la especie y el cultivar, pero en todos los casos, su frescura se reconoce por la pruina, identificada comúnmente como el “polvillo blanquecino” que los recubre característicamente. Otra particularidad muy relevante de estos frutos, sobre todo comercialmente, es la cicatriz con forma de “corona” acampanada que queda luego de la cosecha, es decir al desprenderse el pedúnculo, la cual debe ser pequeña y seca a fin de dificultar la acción de los patógenos (García Rubio, 2010b).

Existen diversas especies de arándanos azules, entre las que se destacan los Highbush o altos (*Vaccinium corymbosum* L.), los Lowbush o bajos (*V. angustifolium* A.) y los Rabbiteye u Ojos de Conejo (*V. ashei* Reade) (Rivadeneira, 2020). En particular, las especies más explotadas agronómicamente por su interés comercial son la primera y la última (García Rubio, García González de Lena, & Ciordia Ara, 2018). Dentro del grupo de los arándanos Highbush se pueden distinguir dos tipos que se diferencian en su naturaleza y necesidad de frío para la floración: “Northern Highbush” y “Southern Highbush”. Estos últimos se caracterizan por ser híbridos interespecíficos, es decir, no se encuentran naturalmente en el medio si no que se obtienen a partir del cruzamiento de especies (*V. corymbosum* y *V. darrowi*). En la actualidad, sus variedades más difundidas son Emerald y Snowchaser, aunque también son conocidas O’Neal, Misty y Star; por su parte, las de los “Northern Highbush” son Elliot, Duke, Blue Chip, Brigitta y Bluecrop.

Todas las especies presentan diferentes características de crecimiento dependientes de su zona de origen y los requerimientos en horas de frío para florecer y producir (Rivadeneira, 2020), lo que permite que, hoy en día, a partir de una selección estratégica de las variedades, puedan encontrarse cultivos de este fruto de estación en climas templados en ambos hemisferios. A su vez, cada variedad tiene distinto periodo en el que se producen las etapas de desarrollo tanto reproductivas como vegetativas. En la Figura 2 se muestra el calendario de cosecha según variedad expresado en meses y semanas. El desafío está en seleccionar variedades que sean aptas para las condiciones edafoclimáticas de determinada región y que permitan obtener el mayor rédito económico frente a la oferta, ya sea por producción contra estación en una ventana más temprana, producción prolongada alargando la cosecha con variedades tardías, o bien por la obtención de frutos de mayor calidad.

Estos frutos cosechados una vez al año son climatéricos, es decir, pueden madurar no sólo adheridos a la planta, sino también después de la cosecha. Son altamente perecederos, es decir duran entre 2 y 5 días sin conservantes ni almacenamiento en frío, dependiendo del cultivo (Xing, y otros, 2021). Por este motivo, luego de la cosecha es fundamental el manejo adecuado de la temperatura (4 – 5°C) o, incluso, recurrir a otras tecnologías postcosecha para evitar que pierdan su calidad rápidamente (García Rubio, 2010a). Estudios demuestran que, a temperaturas de refrigeración (0°C), la vida útil de los arándanos es de unos 14 a 20 días (Matiacevich, Celis Cofré, Silva, Enrione, & Osorio, 2013).

	AGOSTO	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE		
VARIEDAD	32-35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Snowchaser																
Sapphire																
Springhigh																
Emerald																
Primadonna																
Jewel																
Star																
Bluecrisp																
Oneal																
Misty																
Abundance																

Figura 2: Calendario de cosecha según la variedad.

Fuente: Comité Argentino de Arándanos [ABC] (2020e).

Los arándanos cosechados deben ser enfriados tan rápido como sea posible dentro de las cuatro horas de recolectados, ya que los microorganismos son muy activos cuando los frutos están a alta temperatura. Además, el enfriamiento disminuye la tasa de respiración, frenando el proceso de maduración y la inevitable pérdida de calidad. La temperatura óptima que asegura un mayor tiempo de vida oscila entre 0.5 – 1.1°C.

Se trata de frutos que se caracterizan por su sabor dulce acidulado cuando alcanzan la madurez fisiológica, y son muy versátiles, pudiéndose destinar para consumo en fresco, congelado o seco, y también para la elaboración de mermeladas, jugos, helados, entre otros.

2.2 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

Como toda especie perenne de follaje caduco, necesitan acumular horas de frío efectivas durante el reposo invernal, cuya cantidad depende de la especie y la variedad. Se entiende por hora de frío efectiva al tiempo ininterrumpido acumulado a temperaturas por debajo de 7°C. A su vez, la variedad del cultivo influye en los requerimientos climáticos: algunas necesitan climas más fríos y otras se adaptan a climas templados a cálidos. Por ejemplo, producto de su mejoramiento genético, los arándanos “Southern Highbush” pueden adaptarse a climas más templados con menores requerimientos de frío (200 – 600 hs. de frío), en comparación con los “Northern Highbush” que necesitan bajas temperaturas y entre 650 – 1.200 hs. de frío (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGyP], 2020). Vinculado con la temperatura, también es fundamental que el momento de la ocurrencia de heladas no coincida con la época de floración, por lo que esto debe considerarse al momento de la selección de variedades (Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas [SINAMIVO], s.f.).

En relación con las condiciones climáticas, otro punto importante para tener en cuenta que, en este caso, afecta a todas las especies y variedades por igual es el control de los vientos fuertes, sobre todo durante los primeros años de desarrollo. Estos provocan daños en los cultivos

que afectan negativamente su crecimiento por lo que es conveniente protegerlos a través de cortinas forestales.

En lo que al suelo respecta, no es un cultivo muy exigente en cuanto a fertilidad química, pero sí en términos del pH y la textura. Necesita suelos ácidos, específicamente con un rango de pH comprendido entre 4.5 – 5.5, para poder alcanzar el mayor potencial productivo. Este es el principal parámetro limitante del cultivo porque a partir de un pH por encima de 5.8, conforme este va incrementando, el crecimiento y la productividad disminuyen; y si el pH llega a 7, la planta deja de crecer y muere (García Rubio, García González de Lena, & Ciordia Ara, 2018). Además, el contenido de materia orgánica también juega un rol importante considerando que se trata de una planta que exige niveles entre 3 a 5%.

Por otro lado, este cultivo requiere suelos con textura ligera como los arenosos o franco-arenosos porque, si bien es necesario que el suelo retenga humedad por sus raíces superficiales, es igual de imprescindible que tenga buen drenaje y porosidad para que haya oxígeno a nivel de la raíz (García Rubio, García González de Lena, & Ciordia Ara, 2018). La disponibilidad constante de este gas y los niveles de humedad adecuados para evitar la asfixia radicular son dos factores claves que deben controlarse continuamente porque afectan el crecimiento y la productividad. En nuestro país, esto se logra mediante el riego por goteo que, incluso, también facilita la fertirrigación y el ajuste de pH (MAGyP, 2020).

Estas exigencias físicas y del pH varían en función de las especies. Por ejemplo, *V. ashei* Reade, a diferencia de *V. corymbosum*, tolera mejor la sequía y el pH del suelo, es decir puede cultivarse en suelos con pH más alto, pero es más sensible al exceso de humedad en el suelo (García Rubio, 2010b).

2.3 ESTRUCTURA DE LAS BAYAS

Los arándanos se identifican como bayas porque este término es empleado comúnmente para denominar a los frutos carnosos. Desde el punto de vista botánico, el fruto es el ovario desarrollado, maduro y con las semillas ya formadas de las plantas con flor. Específicamente, luego de la polinización, las paredes del ovario se engrosan constituyendo el pericarpio y los rudimentos seminales se convierten en semillas (Esau, 1977). El pericarpio de las bayas, cuya función es proteger a las semillas, suele ser grueso y jugoso, y en él generalmente se distinguen tres estratos: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Figura 3).

El epicarpio es la parte externa del pericarpio que suele proteger al resto del fruto del exterior. Comprende la epidermis que es continua y sin estomas, y 3 - 4 capas de células subepidérmicas fuertemente cohesionadas, sin espacios intercelulares, conteniendo los depósitos de pigmentos antociánicos (Sajur, Ferullo Lanús, & Isla, 2007). La epidermis de los arándanos está cubierta por cera epicuticular (pruina) que ejerce un papel valioso como protección contra factores

externos como la desecación, infecciones por bacterias e insectos patógenos y la influencia de las condiciones climáticas. Asimismo, dada su naturaleza hidrofóbica, también controla la absorción de agua y sustancias químicas en la fruta, un factor muy importante en la deshidratación / secado.

Por su parte, el mesocarpio, situado en la parte intermedia del pericarpio, es relativamente grueso, carnoso y constituye la parte comestible del fruto, conocida como pulpa en frutos de este tipo. Está constituido por células parenquimáticas grandes, más o menos del mismo diámetro, muy organizadas y dotadas por una gran vacuola y citoplasma parietal. A su vez, dichas células pueden presentar esclereidas incorporadas en forma dispersa o formando grupos que aportan rigidez y soporte al fruto. Finalmente, el endocarpio es la parte más interna del fruto. En los arándanos, es muy blando y contiene gran cantidad de pequeñas semillas.

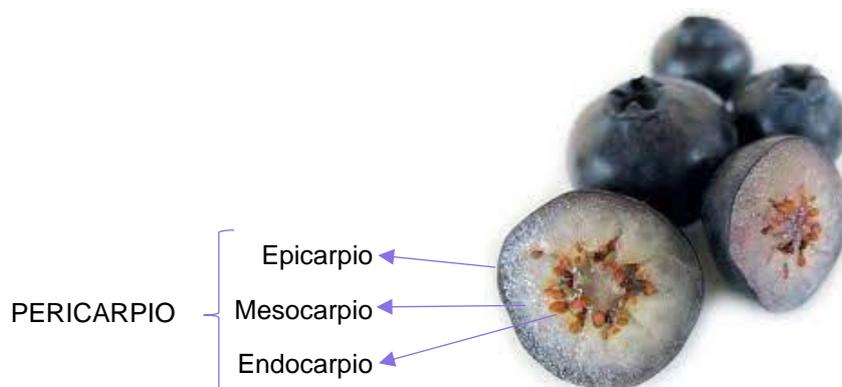


Figura 3: Corte transversal de las bayas e identificación del pericarpio y sus estratos.

Fuente: Arctic Flavours Association (s.f.).

2.4 COMPOSICIÓN DE LAS BAYAS

La composición de las bayas en cuanto al perfil y contenido, al igual que ocurre con otros frutos, varía entre especies, estado de madurez de la fruta, zona de cultivo, parámetros ambientales y el manejo pre- y postcosecha de la fruta. Sin embargo, se puede establecer una composición estándar donde los principales componentes son agua (hasta 90%), azúcares (3 a 7%) y ácidos orgánicos (cítrico (0.40 - 1.31%), málico y, en menor proporción, quínico y succínico) (Bruneton, 1993; Gonzales Huanri & Quispe Nazario, 2019). Tanto los azúcares como el pH son parámetros que afectan en gran medida la calidad de los arándanos porque determinan su sabor. Los azúcares, especialmente glucosa y fructosa, son los componentes solubles más abundantes de estos frutos. Se hallan en un rango entre 11.2 - 14.3 °Brix dependiendo del cultivar, y el pH en un rango entre 2.75 y 3.81 (Matiacevich, Celis Cofré, Silva, Enrione, & Osorio, 2013).

Los arándanos no se caracterizan por su aporte en macronutrientes, si no que su calidad y propiedades alimenticias y medicinales, viene determinada por ser ricos en fibra y

micronutrientes. En detalle, contienen alta concentración de vitaminas, principalmente C, A y las del grupo B, y minerales como el potasio, fósforo, magnesio y calcio. En la Tabla 1 se puede apreciar la composición nutricional de los arándanos azules expresada sobre base de 100 g de peso fresco. Además, estos frutos son una gran fuente de fitoquímicos bioactivos, principalmente compuestos fenólicos, que tienen alto potencial antioxidante y pueden clasificarse en dos grandes grupos: flavonoides y no-flavonoides. Dentro del primero se encuentran antocianinas, proantocianidinas (taninos condensados), flavan-3-oles, y flavonoles; y en el otro, ácidos fenólicos derivados del ácido cinámico y benzoico. Todos estos componentes provienen de la ruta bioquímica de los metabolitos secundarios de la planta y están relacionados con distintos parámetros de calidad organoléptica, nutricional y funcional.

Tabla 1: Composición nutricional del arándano azul sobre base de 100 g peso fresco.

COMPONENTES	UNIDAD	VALOR
Agua	g	84.21
Energía	Kcal	57
Proteínas	g	0.74
Grasas totales	g	0.33
Carbohidratos	g	14.49
Fibra	g	2.4
Azúcares	g	9.96
MINERALES		
Calcio	mg	6
Hierro	mg	0.28
Magnesio	mg	6
Fósforo	mg	12
Potasio	mg	77
Sodio	mg	1
Zinc	mg	0.16
VITAMINAS		
Vitamina C	mg	9.7
Tiamina (Vitamina B1)	mg	0.037
Riboflavina (Vitamina B2)	mg	0.041
Niacina (Vitamina B3)	mg	0.418
Ácido pantoténico (Vitamina B5)	mg	0.124
Vitamina B6	mg	0.052
Ácido Fólico (Vitamina B9)	µg	6
Vitamina A	µg	3
Vitamina E	mg	0.57
Vitamina K1	µg	19.3
LIPIDOS		
Saturados totales	g	0.028
Monoinsaturados totales	g	0.047
Poliinsaturados totales	g	0.146
Colesterol	mg	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de U.S. Department of Agriculture (2019).

En particular, las antocianinas representan aproximadamente el 60% del total de compuestos fenólicos (Kalt, y otros, 2019), de hecho, según García Pastor (2016), entre todas las bayas, el arándano es el que mayor cantidad de antocianinas posee (Tabla 2). Estas son pigmentos naturales solubles que, además de otorgarle a los arándanos su color azul-violáceo característico, se utilizan como marcadores para evaluar la calidad de la fruta debido a su rol protagónico en la inhibición de los procesos oxidativos (Nicoletti, y otros, 2015). Químicamente, son glicósidos de antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de aglicona (antocianidina) unida a un azúcar (galactosa, glucosa, arabinosa, xilosa y ramnosa) mediante un enlace glucosídico generalmente en la posición 3 del anillo. En los arándanos azules, de acuerdo con el estudio realizado por Yousef y otros (2013), las antocianinas predominantes son las derivadas de las agliconas malvidina y delfinina, específicamente, malvidina-3-O-galactósido (24.1%), delfinina-3-O-galactósido (16.0%) y malvidina-3-O-arabinósido (11.0%). Se encuentran localizadas principalmente en la piel y son altamente inestables frente a los cambios de pH, pudiendo degradarse en el tejido fresco o durante el procesado y almacenamiento.

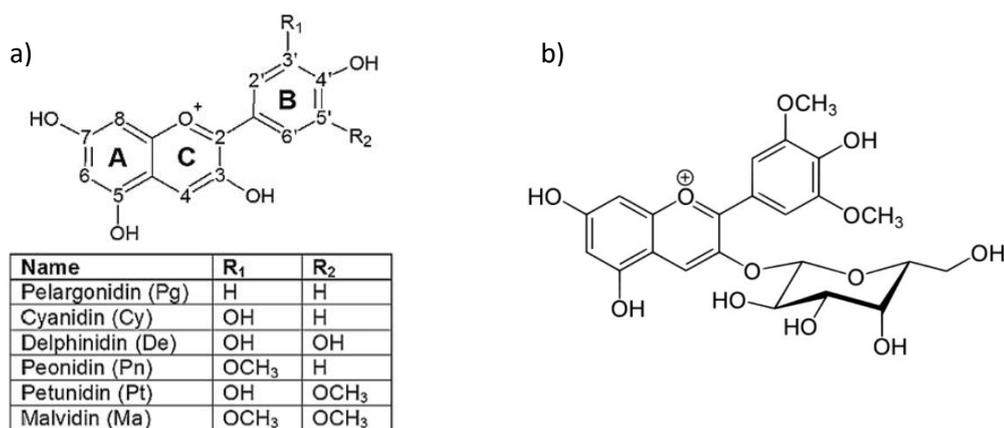


Figura 4: Estructura química (a) de las antocianidinas comunes y (b) de la antocianina mayoritaria en arándanos azules: malvidina-3-O-galactósido.

Fuente: García Pastor (2016) y De la Cruz (2018).

Tabla 2: Contenido de antocianinas en las bayas.

BAYAS	CONTENIDO DE ANTOCIANINAS
Arándano	5000 mg/Kg
Mora	4000 mg/Kg
Fresa	750 mg/Kg
Grosella Negra	4000 mg/Kg

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de García Pastor (2016).

Respecto a los demás componentes comprendidos en el grupo de los compuestos fenólicos flavonoides, si bien su presencia no es tan abundante como la de las antocianinas, también contribuyen significativamente a la actividad antioxidante de la fruta, entre otras propiedades.

Los principales flavan-3-oles encontrados en los arándanos azules son catequinas y epicatequinas; mientras que los flavonoles predominantes son quercetina, miricetina y kaempferol. Por su parte, las proantocianidinas, son dímeros, trímeros y oligómeros de varios flavan-3-oles.

Por otro lado, en términos de los compuestos fenólicos no flavonoides, los arándanos se caracterizan por ser ricos en ésteres de ácido hidroxicinámico, especialmente ácido clorogénico que deriva de la unión éster entre el ácido cafeico y el ácido quínico (Kalt, y otros, 2019). Otros compuestos polifenólicos que se encuentran en las bayas son los estilbenos, que por más que estén en cantidades inferiores que todos los anteriores, contribuyen en los efectos beneficiosos. El principal es el resveratrol hallándose 860 ng por gramo de fruta seca, pero también se encuentran en algunas especies dos análogos de este como el pterostilbeno y piceatannol en cantidades que oscilan entre 100 – 420 ng por gramo de fruta seca (Neto, 2007).

La evaluación de la composición fitoquímica de estos frutos es fundamental para determinar las posibles propiedades beneficiosas y reguladoras para la salud. Teniendo esto presente, es necesario hacer hincapié en los cuidados y tratamientos pre- y postcosecha para obtener frutos de calidad tanto organoléptica como en composición química y valor nutricional, para que efectivamente ejerzan efectos bioquímicos beneficiosos.

2.5 BENEFICIOS PARA LA SALUD

En cualquiera de sus variedades, los arándanos son frutos muy apreciados por sus propiedades nutraceuticas, específicamente, por ser una gran fuente de antioxidantes de calidad: contienen abundante concentración de compuestos fenólicos, principalmente antocianinas, y vitamina C. Se le atribuyen grandes beneficios para la salud como propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, neuro-protectoras, reguladoras de diabetes tipo II, y protectoras contra la obesidad, enfermedades cardiovasculares, infecciones urológicas y el envejecimiento prematuro de la piel. Sus compuestos bioactivos, incluso en fracciones minúsculas, actúan de forma individual o sinérgica, inicialmente, neutralizando los radicales libres, pero también demuestran acciones positivas sobre biomarcadores biológicos, protegiendo al organismo de la aparición de diversas patologías crónico-degenerativas (Nicoletti, y otros, 2015).

Las propiedades anticancerígenas son una de las más difundidas. Estas se atribuyen principalmente al contenido de polifenoles que, al ser agentes quimiopreventivos, inhiben el crecimiento de las células tumorales. Específicamente, los componentes a los que mayormente se les asigna este potencial son la quercetina y el ácido ursólico (triterpeno), si bien los demás compuestos fenólicos, flavonoides y estilbenos, también contribuyen, cada uno de ellos actúa en diferentes etapas de la carcinogénesis (Neto, 2007). En términos generales, el mecanismo de acción de estos compuestos consiste, por un lado, en la neutralización de radicales libres mediante la estimulación de la expresión de enzimas de desintoxicación y la disminución de la

peroxidación lipídica; y, por otro, en fomentar la producción de células Natural Killer que inducen la apoptosis, inhibiendo de esta forma la proliferación de células tumorales (Nicoletti, y otros, 2015).

Otros de los beneficios que se atribuyen a los compuestos polifenólicos son la capacidad de regulación de diabetes tipo II y la inhibición de los procesos oxidativos vinculados con el envejecimiento de las células cerebrales. En relación con la diabetes, el mecanismo de acción de estos compuestos se basa en controlar la captación de glucosa y contribuir a mejorar la sensibilidad a la insulina (Nicoletti, y otros, 2015). Específicamente, inhiben las enzimas α -glucosidasa y α -amilasa en la luz intestinal disminuyendo la hiperglucemia en ayunas y en el estado posprandial ya que, al restringir el mecanismo de digestión de los constituyentes polisacáridos de la dieta, se reduce la absorción de azúcares simples. Además, contribuyen a mejorar la captación de glucosa en el músculo y los adipocitos suprimiendo la producción de glucosa hepática.

Por otro lado, la alta concentración en sustancias con gran capacidad antioxidante contribuye al buen mantenimiento del sistema cardiovascular previniendo cardiopatías, hipertensión, colesterolemia, entre otras. Específicamente, las antocianinas mejoran el tono vascular mediante la acción vasodilatadora inducida por la acumulación de óxido nítrico, cuya producción por parte de las células endoteliales se ve aumentada por estos compuestos fenólicos flavonoides (Silva, y otros, 2018). A su vez, las antocianinas también son responsables de las propiedades antiinflamatorias junto con la quercetina, y ayudan a disminuir el aumento del peso corporal. Sumado a esto, contribuyen al buen mantenimiento del sistema ocular y la mejoría de la visión nocturna ya que promueven la regeneración de rodopsina que es el pigmento de los bastones de la retina sensible a la luz.

En cuanto a la acción frente a los efectos degenerativos de la edad, en lo que a la piel refiere, la alta concentración de antioxidantes de los arándanos no solo elimina los radicales libres que deterioran el tejido de forma acelerada, sino que también, puntualmente la vitamina C, estabiliza la matriz de colágeno previniendo el envejecimiento prematuro de la piel y dejando la piel más tersa y suave. Estos frutos, a la vez, son grandes aliados para el tratamiento de manchas, por la acción antioxidante y antiinflamatoria de las antocianinas, y acné, atribuible principalmente a la alta concentración de vitamina A que tiene la capacidad de limitar la producción de sebo por parte del organismo (BlueBerries Argentina, s.f.b).

Por su parte, las proantocianidinas son las responsables de las propiedades a nivel urológico porque, como todos los taninos, exhiben actividad antibacteriana, impidiendo la adhesión de bacterias patógenas, principalmente *Escherichia coli*, a superficies celulares del tracto urinario (uretra, vejiga, riñones y próstata) (Vázquez-Flores, Alvarez-Parrilla, López-Díaz, Wall-Medrano, & De La Rosa, 2012). Además, estos compuestos contribuyen a mejorar el tránsito intestinal y la prevención de úlceras estomacales dado que impiden la adherencia de *Helicobacter pylori*,

bacterias responsables de esta última afección, a las células epiteliales del estómago (Asensio García, 2016).

Nutricionalmente, además de sus propiedades antioxidantes, se destacan por su bajo contenido calórico y su alta concentración en fibra, vitaminas y minerales. Puntualmente, el alto contenido en vitamina C refuerza el sistema inmunológico protegiendo al organismo contra la gripe y otras enfermedades víricas. A su vez, son pobres en grasas saturadas y sodio.

En conclusión, debido a la capacidad que tienen de brindar, no solo un aporte nutritivo extraordinario para la dieta, sino también notable potencial para reducir el riesgo de enfermedades, los arándanos se pueden definir como una “super fruta”.

2.6 PRODUCCIÓN DE ARÁNDANOS

En lo que respecta a su producción, el cultivo comercial de arándanos se introdujo en América del Sur a mediados de la década de los 80, siendo Chile el país pionero. En Argentina, la producción lleva más de 20 años. Las primeras plantaciones comerciales tuvieron lugar en el año 1998 en el norte de Buenos Aires, específicamente en Lima, partido de Zárate, de la mano del Ingeniero Caffarena, quién sembró en un campo que ya tenía plantas de arándanos que había traído de Estados Unidos. Recién en el año 2004 se observó una rápida expansión de esta actividad debido a su adaptación al medio agroecológico, alta rentabilidad y elevada demanda externa, posibilitando las exportaciones de fruta fresca. En el año 2008 se logró la mayor superficie cultivada alcanzando 4750 ha; sin embargo, desde ese entonces, la cantidad de hectáreas plantadas ha ido disminuyendo, encontrándose en los últimos 5 años alrededor de las 2700 ha. No obstante, en el 2020, retrocedió aún más llegando a las 2400 ha.

Las 2.400 hectáreas con plantaciones de arándanos se encuentran distribuidas en 3 regiones productoras: el Noroeste Argentino (NOA) comprendido por las provincias de Tucumán, Salta y Catamarca, el Noreste Argentino (NEA) que incluye a Entre Ríos, Corrientes y Misiones, y el centro del país, específicamente Buenos Aires. Según datos de Dell'Acqua, Moyano, Galván, Ríos, & Paz, (2019), el 86% de la superficie cultivada está representado en conjunto por el NOA y el NEA, que contribuyen con alrededor del 47% y el 39%, respectivamente. El 14% restante corresponde a la superficie localizada en el centro del país. De acuerdo con los resultados obtenidos en el Censo Nacional Agropecuario 2018, las 3 provincias en las que se localiza la mayor superficie con arándanos son Tucumán (47%), Entre Ríos (28%) y Buenos Aires (8%).

La producción anual de arándanos en Argentina, en los últimos 6 años, oscila en torno a las 18.000 toneladas incluyendo el 2020, año en el que a pesar de las dificultades que trajo la pandemia, Argentina logró mantener estable el volumen de producción (ABC, 2020a). En el Gráfico 1 se muestra la evolución de la producción de arándanos en Argentina en el último sexenio.

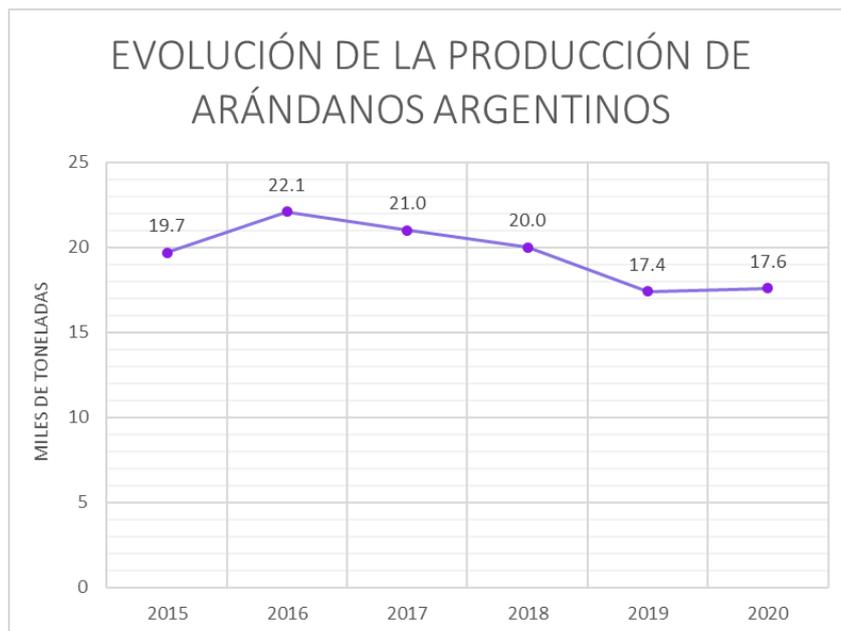


Gráfico 1: Evolución de la producción de arándanos argentinos en el último sexenio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de MAGyP (2020) y ABC (2020e).

A nivel mundial, los últimos datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (s.f.) corresponden a los de 2019, año en que el mayor productor mundial fue Estados Unidos seguido por Canadá, Perú, Chile, España y México. En el Gráfico 2 se detalla el volumen de producción anual del 2019 de los principales productores y de Argentina.

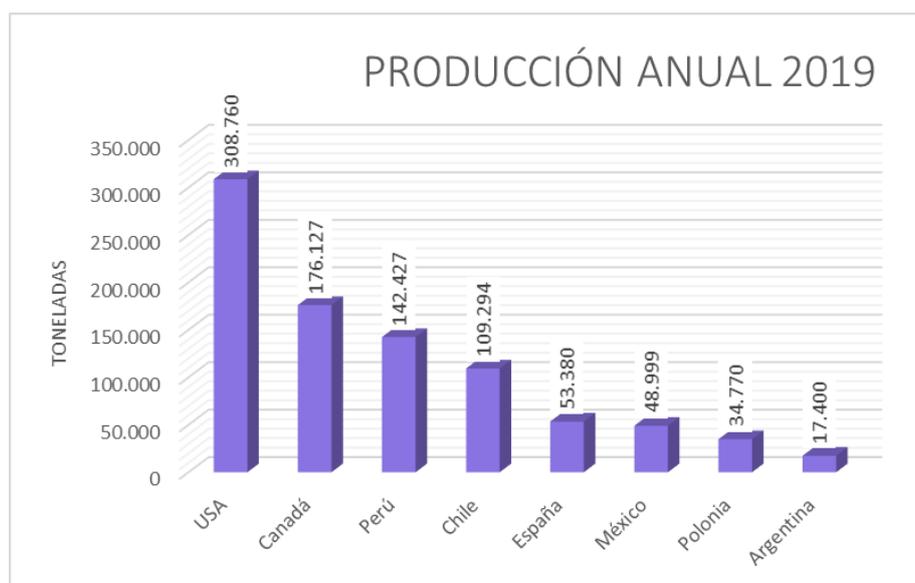


Gráfico 2: Producción anual del 2019 de los principales productores y de Argentina.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de FAO (s.f.), ABC (2020e) y Chilean Blueberry (2021).

Esta actividad agroindustrial está a cargo de aproximadamente 148 productores (Cadena de Arándanos 2019). Se caracteriza por ser producciones intensivas en la mano de obra y capital, generando una alta rentabilidad en superficies no muy extensas (Dell’Acqua, Moyano, Galván, Ríos, & Paz, 2019). Proporciona una gran cantidad de empleos, más de 20.000 puestos de trabajo en todo el país, principalmente durante la temporada de cosecha, lo cual repercute económica y socialmente en las economías locales y regionales donde tiene lugar. Requiere mano de obra temporaria para: la cosecha, que se lleva a cabo en forma casi totalmente manual para asegurar el perfecto estado de los frutos, la clasificación de los arándanos, y su refrigeración para evitar pérdidas de calidad. Además, cuenta con personal permanente para las labores culturales, de poda, riego, fertilización y control de heladas, plagas y enfermedades.

La producción en Argentina se concentra aproximadamente entre los meses de junio y diciembre dependiendo de las condiciones climáticas: si el invierno es más duro, la producción comienza por agosto, mientras que, si es más benigno, en junio ya puede obtenerse fruta local (Pannunzio, 2021b). La época de mayor importancia está comprendida entre septiembre y noviembre, con un pico de ventas en el mes de octubre (45% del total) (MAGyP, 2020). Esta ventana es la que le permitió a la Argentina tomar ventaja sobre Chile para abastecer en contra estación a los principales mercados del hemisferio norte: Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea, que siempre han sido grandes consumidores (Pannunzio, 2021b).

	ENERO	FEBRERO	MARZO	MAYO	ABRIL	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
ARGENTINA												
AUSTRALIA												
CANADÁ												
CHILE												
ESPAÑA												
ESTADOS UNIDOS												
MÉXICO												
NUEVA ZELANDA												
PERÚ												
POLONIA												
SUDÁFRICA												
URUGUAY												

Figura 5: Calendario mundial de producción de arándanos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de MAGyP (2020) y García Rubio, García González de Lena, & Ciordia Ara (2013).

Teniendo en cuenta la importancia del calendario de cosecha (Figura 5) para el crecimiento del sector a nivel internacional, resulta estratégico para nuestro país el uso de variedades tempranas que produzcan frutos que cumplan con los estándares de calidad y permitan satisfacer la demanda, incluso desde agosto, obteniendo los mejores precios. Según datos de MAGyP (2020), las variedades que más superficie ocupan actualmente en Argentina son Emerald y Jewel, que están en el país desde el año 2003, y Snowchaser que fue inscrita en el 2008, todas pertenecientes al tipo “Southern Highbush”.

2.7 MERCADO DE ARÁNDANOS

En Argentina, gran parte de la producción de arándanos se destina al mercado externo. En 2020, la exportación de arándanos representó casi el 80% de la producción de la fruta en las tres zonas productivas: NEA, NOA y Buenos Aires (Pannunzio, 2021a), generando aproximadamente 87 millones de dólares en exportaciones (Amiel & Dalton, 2020). Si bien es un porcentaje elevado, el volumen de arándanos exportados durante el último año disminuyó respecto al anterior. Esto se atribuye a que los precios internacionales bajaron por la presión de otros países productores, como Perú, que incrementó su volumen de producción en contraposición a la Argentina, cuya producción disminuye año a año. Sumado a esto, creció mucho la venta en el mercado interno y se destinaron volúmenes importantes a la industria ya que poder exportar representa un costo y un esfuerzo financiero enorme que muchos productores no pudieron afrontar (Pannunzio, 2021a).

En cuanto a las exportaciones, la producción se distribuye destinando aproximadamente el 65% a Estados Unidos y Canadá, el 30% a la Unión Europea y Reino Unido, y 5% a Asia (ABC, 2020a). Respecto al continente asiático, los principales importadores son Israel, Rusia, Hong Kong y en el pasado China. En 2018 se alcanzó una de las mayores oportunidades de expansión del mercado local: China abrió su mercado a los arándanos frescos argentinos una vez comprobado el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios exigidos. En ese entonces, se exportaron 720 kilos de arándanos frescos de Entre Ríos a la ciudad de Shenzhen (MAGyP, 2018). Sin embargo, si bien es un mercado estratégico por su escala, el sector no pudo sostener este intercambio comercial porque Argentina tenía un 30% de arancel de ingreso a China que, si bien hoy está en un 15%, los competidores pagan 0%, lo cual hace que sea muy difícil competir.

Según información del ABC (2020e), la producción promedio de los últimos años ronda las 17.6 miles de toneladas que se distribuyen de la siguiente forma:

- El 60% (10.600 tn) se exporta como fruta fresca,
- El 23% (4.000 tn) se exporta como congelado que se destina a su industrialización para la producción de pasas, jugos, mermeladas y pastas congeladas para helados, yogur y repostería.
- El 17% restante (3.000 tn) se destina al mercado local en su mayoría como arándano fresco.

Con respecto al mercado interno, este no está tan desarrollado en comparación con otros países. Según estimaciones realizadas por MAGyP (2020) a partir de datos de SENASA referidos a los volúmenes transportados a los principales mercados concentradores y comercios minoristas, el consumo del año 2019 se ubicaría en alrededor de 45 - 50 gramos/hab.año de fruta fresca, lo que equivale a una demanda de alrededor de 2 a 2.3 mil toneladas anuales. Se trata de un consumo per cápita bajo que durante el 2020 logró crecer de forma considerable. Este

aumento se debe, por un lado, al éxito en las estrategias de difusión del consumo de arándanos llevadas a cabo por el sector productivo en conjunto con el ABC. Estas se impulsaron frente al cierre de algunos mercados y la aparición de nuevos e importantes competidores (Dell'Acqua, Moyano, Galván, Ríos, & Paz, 2019). Por otro lado, el contexto mundial de la pandemia puso a la salud en primer plano denotando la importancia de una alimentación saludable, lo cual despertó el interés en los arándanos por sus características nutricionales y beneficios para la salud.

En relación con el incentivo del consumo interno de arándanos, hace cuatro años que se le ha dado continuidad a la campaña "Mejor con Arándanos" encabezada por el ABC. Esta está comprendida dentro del programa "Más Frutas y Verduras" que está a cargo del Ministerio de Agroindustria de la Nación y cuyo fin es aumentar el consumo de frutas y verduras que, en Argentina, se encuentra muy por debajo de las recomendaciones (ABC, 2020c). El principal proyecto de la campaña es "La semana del arándano" que tiene lugar a fines de octubre, dado que se trata del mes de mayor producción del fruto en nuestro país. Todas las acciones y actividades enmarcadas en este proyecto tienen como objetivo fomentar su consumo masivo y posicionarlo como una alternativa fresca, natural y saludable a la ingesta de snacks, postres, golosinas, etc., destacando sus características nutricionales y beneficios saludables.

2.8 PROBLEMÁTICA DEL SECTOR

Las principales dificultades se generan en torno a las exportaciones. Los arándanos son frutos altamente perecederos y muy delicados en su tratamiento por lo que la logística de distribución es compleja y muy costosa. El intercambio comercial puede realizarse por vía marítima o aérea, que si bien es más rápida tiene un mayor costo asociado (USD 2.50/kilo contra USD 0.50), no solo por la tarifa aérea, sino también porque una vez que los arándanos son empaquetados se les debe realizar un tratamiento contra la mosca de los frutos. Independientemente del método de transporte, para Argentina, poder garantizar un producto de calidad es todo un desafío considerando que los principales mercados consumidores se encuentran distantes (Estados Unidos y Europa). Por ello, es necesario someter los frutos a algún tratamiento postcosecha que permita mantener su integridad y calidad por un tiempo prolongado, con el costo que eso implica.

Hasta el año pasado, en el que hubo una gran reducción de vuelos por la pandemia y, por ende, aumentos desmesurados en las tarifas aéreas, la mayoría de la producción argentina se exportaba por vía aérea, lo que generaba una gran desventaja en costos frente a la competencia. Desde entonces, 60% de los envíos se realizan por vía marítima, pero para ello fue necesario adaptarse a un nuevo esquema (ABC, 2020a). Si bien este cambio de modalidad de envío le permitió a Argentina resistir ante la baja sostenida de precios por la presión que ejerce el volumen de producción de otros competidores como Perú, nuestras exportaciones en 2019 representaron tan solo el 10% de la oferta en la ventana de agosto a diciembre (ABC, 2020b). Frente a esta

situación, la estrategia de nuestro país para poder posicionarse y diferenciarse en este mercado cada vez más complejo y abastecido es apuntar a la producción orgánica, la obtención de fruta con estándares altísimos de calidad y sabor, y al trabajo responsable enfatizando en la prevención del trabajo infantil y la protección del adolescente.

Actualmente, en el mundo hay mayor conciencia sobre el cuidado del medioambiente y la salud, por ello, en el mercado de exportación se exigen frutos de alta calidad, inocuos y naturales, es decir obtenidos con el mínimo uso de agroquímicos (Calvo, Candan, Colodner, & Gomila, 2018). Este es un gran puntapié para prestar mayor atención en minimizar la pérdida y el desperdicio de alimentos que trae aparejados numerosos problemas. No solo afecta notablemente al medioambiente y, en consecuencia, a los seres que habitamos en él, sino que también tiene un impacto económico y social, convirtiéndose en una problemática global.

En lo que respecta a los arándanos, después de la cosecha, cerca de la mitad de los frutos cosechados no son aptos para el consumo debido a la pérdida de textura, peso, deterioro de la calidad y/o crecimiento microbiano, especialmente debido a mohos y brotes de hongos (por ejemplo, *Botrytis cinérea*) (Li, y otros, 2021). Por ello, es fundamental hacer hincapié en prolongar su vida útil mediante el uso de tecnologías avanzadas para garantizar que estos lleguen a destino lo más rápido posible con una calidad óptima para evitar pérdidas económicas y que se vea afectada la seguridad, calidad e inocuidad alimentaria.

Otra de las problemáticas que debe afrontar este sector productivo son los altos costos laborales. Estos representan el 65% del costo total debido a la influencia de las cargas sociales y el costo del jornal argentino que es el más alto de toda la región (Dell'Acqua, Moyano, Galván, Ríos, & Paz, 2019). Por otro lado, Pannunzio (2021b) expone la necesidad de un marco regulatorio laboral que brinde seguridad Jurídica y sea más apropiado a la actividad que tienen los cultivos frutícolas, es decir con mano de obra intensiva y contratación temporal tanto para la cosecha como para la incorporación de mejoras en las plantaciones. Asimismo, el presidente de la Asociación de Productores de la Mesopotamia Argentina (APAMA) y vicepresidente de ABC, Alejandro Pannunzio, solicita el mantenimiento de los planes sociales que cobra toda persona que se quisiese empadronar porque de lo contrario, al pasar de un plan a otro, queda un determinado tiempo sin cobrar que dificulta significativamente la contratación.

Por último, y no menos importante, Argentina tiene grandes problemas impositivos y de inversión que dificultan mucho el desarrollo del sector. A diferencia de otros países, el nuestro tiene que pagar una gran cantidad de impuestos en origen y en destino, sumado a las retenciones que, si bien se eliminaron a fines del año pasado, como la exportación se realizó antes aún se siguen pagando. Además, existe un desfase en el reintegro del IVA que se genera debido a que los insumos que se compran incluyen este impuesto mientras que la exportación no. Esto afecta a toda la cadena de pago y, en consecuencia, de producción dado que cuando la devolución se cobra, ya se ha perdido un 60% de lo pagado en su momento por la desvalorización

del peso por la inflación (Pannunzio, 2021a). Por otro lado, en nuestro país no existen incentivos que favorezcan la inversión, sino que, todo lo contrario. No rigen opciones como créditos con tasas y plazos acordes a la producción para inversiones como el recambio varietal, mitigación de riesgo, flete, etc. Es más, según lo expuesto por Pannunzio (2021b), para poder ser sustentable y sostenible en el tiempo, se necesita una reinversión de al menos un 15% por año, algo que en la fruticultura argentina no es posible de llevar a cabo.

2.9 TECNOLOGÍAS POSTCOSECHA

Como se mencionó anteriormente, los arándanos son altamente perecederos y dicha característica impone requerimientos muy específicos con relación a la postcosecha y el transporte para poder mantener los atributos obtenidos en el campo. Esto, de modo tal de evitar pérdidas económicas y alimentarias por tener que descartarlos o destinarlos a industria si no cumplen con los estándares de calidad para su comercialización como producto fresco. Según el titular de APAMA, en todo el procedimiento que comprende desde la cosecha del fruto hasta su destino final, entre un 5 y un 8% de la mercadería es destinada a disposición (pérdidas o desperdicio) (Ehuletche, 2017).

Enfatizando en la postcosecha, es necesario recurrir a la implementación de diferentes tecnologías que tengan por finalidad ralentizar las transformaciones fisiológicas y bioquímicas indeseables que ocurren durante la maduración y senescencia de estos frutos, preservando su sabor y calidad. Principalmente, se trata de tratamientos que están orientados al control de la temperatura, la humedad relativa (HR) y el contenido gaseoso, considerando que estas variables tienen una relación directa con el metabolismo de los frutos.

Está demostrado que las bajas temperaturas son muy efectivas para extender la vida postcosecha de los frutos dado que disminuyen la tasa respiratoria, el calor de respiración, la producción de etileno, la deshidratación y los ataques microbianos (Calvo, Candan, Colodner, & Gomila, 2018). Por ello, cuando el destino de los arándanos es para consumo en fresco, lo ideal es realizar un tratamiento de preenfriado en las primeras 4 horas después de la cosecha. Este logra eliminar el calor de campo lo más rápido posible para luego adoptar las condiciones aconsejadas de conservación.

En el caso de estos frutos, dada sus características, el tratamiento de preenfriamiento más acertado es por aire forzado, el cual consigue bajar la temperatura del interior de los frutos desde 20 - 25°C hasta 1.5°C en 2 horas y de manera uniforme (García Rubio, 2010a). Con este rápido enfriamiento y luego almacenaje a 0°C con HR entre 90 y 95% se puede garantizar la conservación óptima de los arándanos por unas 2 - 3 semanas. La alta HR durante el almacenamiento es una condición sumamente influyente en la preservación de los frutos porque contribuye a minimizar la pérdida de agua, una de las principales causas de deterioro por todos los efectos que trae asociados.

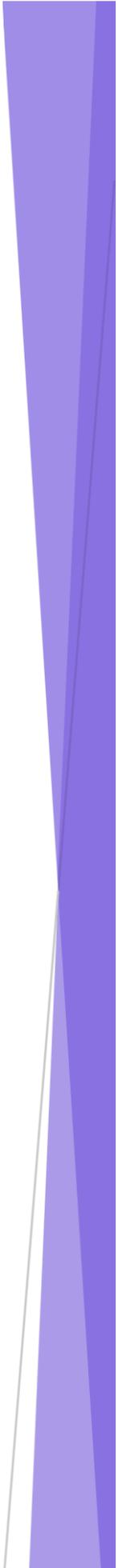
Si bien siempre se tiene como base el uso de baja temperatura, existen otros tratamientos complementarios eficientes para prolongar la vida útil de los frutos como, por ejemplo, el uso de atmósferas modificadas o controladas. Estas contienen niveles más bajos de O₂ y mayores de CO₂ que el aire, y difieren en la vía de alteración de la composición gaseosa (O₂ y CO₂) (García Rubio, 2010a). En el caso de las primeras, el aire se modifica en el interior como resultado del intercambio gaseoso entre la respiración del fruto y la permeabilidad del envase/film; mientras que, en las otras, los niveles de gases a utilizar son ajustados en forma automática y se mantienen dentro de cierto rango durante todo el almacenamiento. Generalmente, cuando se utilizan atmósferas modificadas, para llegar más rápido a la concentración de gases final, se realiza vacío y luego se inyecta la mezcla gaseosa correspondiente, la cual se modificará con el paso del tiempo en función de la temperatura y las características de la fruta y el envase. Específicamente, las concentraciones que logran reducir la respiración de los arándanos, retrasando por tanto su maduración por más de 3 semanas, son 2 - 5% de O₂ y 10 - 15% de CO₂ a 0°C (Defilippi, Robledo, & Becerra, 2013), dependiendo del cultivar y del estado de madurez inicial del fruto.

La atmosfera controlada, si bien se trata de una tecnología costosa, tiene la ventaja de mantener la calidad y frescura de los frutos sin necesidad de utilizar productos químicos, y puede aplicarse a diversos tamaños de envase, desde pallets completos hasta pequeños formatos individuales. Por su parte, el tratamiento con atmósfera modificada logra reducir la pérdida de agua, el desarrollo de patógenos y la abrasión superficial al evitar el contacto directo de los frutos con el contenedor. No obstante, su principal desventaja radica en que los envases utilizados para esta tecnología suelen ser bolsas de polietileno de baja y alta densidad que son altamente contaminantes para el medio ambiente por su origen petroquímico. Por este motivo, considerando que se ha visto un mayor interés por parte de la sociedad en adoptar estilos de vida más saludables, sostenibles y comprometidos con el cuidado ambiental, se ha puesto mayor énfasis en otras tecnologías postcosecha. Entre ellas se destaca el desarrollo de recubrimientos comestibles que proporcionen frutos naturales, seguros, de alta calidad, respetuosos con el medioambiente y con una vida útil más prolongada.

Los recubrimientos comestibles se definen como una fina capa desarrollada a partir de biopolímeros que se deposita sobre la superficie de un alimento con el propósito de extender su vida útil y preservar su calidad, de forma tal de facilitar su distribución y comercialización. Específicamente, la aplicación de RCs aminora los procesos metabólicos porque crea una atmósfera modificada en torno al fruto y genera una barrera semipermeable al vapor de agua. En consecuencia, reduce la velocidad de respiración y retrasa el crecimiento microbiano, la deshidratación y los cambios de color del alimento. Asimismo, los RCs no sólo tienen la capacidad de ralentizar la senescencia, sino que también, dado que se les pueden adicionar distintos aditivos, pueden adquirir diversas propiedades, como antimicrobianas, e incluso mejorar el valor nutricional de los frutos al vehicular compuestos bioactivos. Entre los ingredientes

alimentos empleados en estas formulaciones destacan antioxidantes, antimicrobianos, prebióticos, probióticos y mejoradores de textura.

Hoy en día, los RCs constituyen una tecnología altamente difundida en diversas frutas, incluyendo otras frutas finas como las cerezas. Un ejemplo de ello es Semperfresh™, el recubrimiento comestible comercial que se utiliza en cerezas para protegerlas contra los procesos naturales de deterioro, preservar su color natural y aumentar su brillo. En el caso de los arándanos, aún no hay disponibles RCs comerciales específicos para estos frutos, pero sí existen varias líneas de investigación, experimentación y desarrollo sobre diversas composiciones, algunas de las cuales se van a analizar y comparar en este trabajo.



3. OBJETIVO GENERAL

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3 OBJETIVO GENERAL

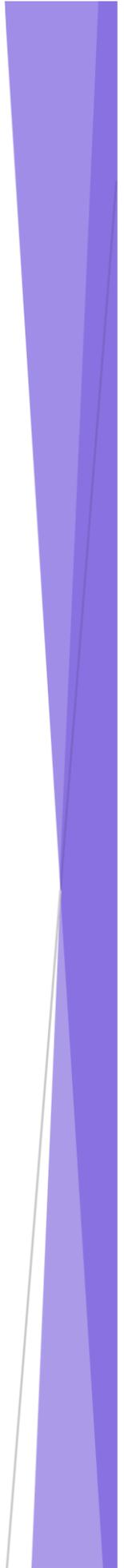
La finalidad de la presente investigación es presentar una visión general de diferentes recubrimientos comestibles que podrían aplicarse a los arándanos azules para vehicular compuestos bioactivos y extender su vida útil, de forma tal de favorecer las exportaciones argentinas de estas bayas y contribuir al cuidado del medioambiente. Esto último considerando que se reduciría la cantidad de desperdicios que se generan por frutos que no cumplen con las exigencias de calidad de los distintos mercados para los arándanos de consumo en fresco, y disminuiría el uso de empaques no biodegradables.

Para ello, se realizará una revisión bibliográfica sobre recubrimientos comestibles que se hayan evaluado, analizando sus ventajas y desventajas, y luego se presentará una propuesta de mercado teniendo en cuenta los resultados de la información recolectada.

4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir distintos recubrimientos comestibles que se han evaluado sobre arándanos como tecnología postcosecha para conservar su calidad, y demostrar sus respectivas efectividades.
- Analizar las ventajas y desventajas de diferentes recubrimientos comestibles que se han investigado hasta el presente y sus métodos de aplicación considerando las características fisicoquímicas y fisiológicas del fruto, y sensoriales del recubrimiento.
- Identificar las posibles potencialidades de combinar dos o más componentes para optimizar la formulación del recubrimiento.
- Analizar la posibilidad de agregar algún aditivo al recubrimiento comestible para que actúe con determinadas funciones: antioxidante, conservante, probiótico, prebiótico, plastificante, etc.
- Evaluar la factibilidad de la implementación de esta tecnología a escala industrial y en los frutos de exportación.

5. MARCO TEÓRICO



5 MARCO TEORICO

5.1 CALIDAD DE LOS ARÁNDANOS

La calidad está definida por una serie de factores agrupados como calidad visible, organoléptica y nutritiva. La primera se refiere a la apariencia de la fruta mientras que la segunda está determinada por el contenido adecuado de azúcares, ácidos y compuestos volátiles responsables del aroma y sabor característico del fruto. Puntualmente, los factores que intervienen en la calidad son el color, sabor, tamaño y forma del fruto, su firmeza, la ausencia de defectos como daños mecánicos y patogénicos, y su valor nutritivo, los cuales constituyen los índices de calidad que se utilizan tanto para definir el momento de cosecha como para el seguimiento de los frutos durante el almacenamiento. El objetivo es llegar al consumidor con un producto de máxima calidad, por ello es fundamental el estado de desarrollo con el cual los frutos son cosechados y el manejo inmediato postcosecha respecto a las condiciones de almacenamiento y empaque.

El momento adecuado de cosecha para obtener arándanos de alta calidad con potencial de duración postcosecha está determinado por el color superficial de los frutos, el cual debe ser azul uniforme. Si las bayas son cosechadas de color rojo, por más que tengan mayor firmeza y, al tratarse de un fruto climatérico, después desarrollen el color azul, la calidad organoléptica es inferior (Defilippi, Robledo, & Becerra, 2013). Además, durante la cosecha es importante disminuir al máximo los daños mecánicos y la exposición al sol dado que las altas temperaturas aceleran los cambios involucrados en la maduración y en la pérdida de calidad. En todo este proceso también se debe considerar el menor manipuleo posible. Tocar y golpear el fruto constantemente lo calienta aumentando la tasa respiratoria, lo cual favorece el deterioro de la calidad, y, a su vez, contribuye a causar daño porque remueve la pruina que los protege de enfermedades y agentes externos.

Arándanos de alta calidad son aquellos de color azul uniforme, con presencia de cera en la superficie de la fruta, firmes al tacto y, preferentemente, de mayor tamaño para el consumo en fresco. También referido a la calidad visible, deben tener ausencia de: síntomas de deshidratación visual, defectos por daño mecánico y pudriciones. En cuanto al sabor, uno de los factores de mayor impacto sobre la aceptabilidad por parte del consumidor, este no depende de la cantidad efectiva de azúcares y ácidos presentes, sino del equilibrio entre los niveles de sólidos solubles totales y la acidez titulable (SST/AT). De acuerdo con estudios sensoriales, se consideran valores óptimos los comprendidos en el rango entre 10 y 33, dependiendo del cultivar (Flores Riveros, 2019). A su vez, el nivel balanceado entre el dulzor y la acidez debe combinarse con un agradable aroma y la textura adecuada para que los arándanos sean aptos para consumo en fresco.

Una vez alcanzado el estado de máxima calidad, sobreviene muy rápidamente el de sobre madurez asociado a un excesivo ablandamiento, pérdida de sabor, color y valor nutritivo, y

crecimiento de patógenos, lo cual debe ser evitado. Por ello, se recurre al rápido enfriamiento y a la implementación de técnicas postcosecha para una mejor aptitud para la conservación y así mantener la calidad obtenida en el campo; de forma tal de que estos frutos estén disponibles al consumidor con su mayor grado de calidad visible, organoléptica y nutritiva.

5.2 FISIOLÓGÍA DE LA MADURACIÓN

Los arándanos son frutos altamente perecederos a temperatura ambiente principalmente debido a su alta tasa respiratoria durante el climaterio. En este proceso de maduración después de la cosecha, aumenta considerablemente la producción de etileno: hormona vegetal que estimula la maduración, y sobreviene la incidencia de desórdenes relacionados con la senescencia y las podredumbres.

Las frutas respiran para obtener la energía necesaria para llevar a cabo todas las reacciones metabólicas y mantener la organización celular. Este proceso consiste en una serie de reacciones catalizadas por enzimas en las que se oxidan las propias sustancias de reserva (ácidos y azúcares) a moléculas más simples como CO_2 y H_2O . De esta forma, la duración de la vida útil del fruto postcosecha depende de la velocidad con la que se consuman estas reservas que no pueden volver a reponerse. A su vez, la respiración produce calor que debe ser disipado a la atmósfera porque, de lo contrario, los tejidos se degradan, aumenta la tasa de respiración dado que la velocidad de las reacciones aumenta al incrementar la temperatura, se acaban las reservas y el fruto se pudre.

Al mismo tiempo que ocurre la respiración, los frutos transpiran, es decir, pierden agua a la atmósfera que se traduce en una pérdida significativa de peso. Los arándanos pierden aproximadamente entre un 6 - 8% de su peso fresco desde la cosecha hasta el final del almacenamiento (30 - 40 días) (Defilippi Bruzzone, Rivera Smith, & Arriola Santibañez, 2017). Esta deshidratación está directamente vinculada con la pérdida de firmeza (Paniagua, East, Hindmarsh, & Heyes, 2013) y, por ende, la incidencia de pudrición. Tal es así que diversas investigaciones han sugerido que los tratamientos postcosecha que restringen la pérdida de agua de los arándanos por debajo del 8%, probablemente sean beneficiosos para minimizar el ablandamiento excesivo y conservar una frescura aceptable (Paniagua, East, Hindmarsh, & Heyes, 2013; Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Gómez-Hoyos, Zuluaga-Gallego, & López-Córdoba, 2020).

La firmeza del fruto es el principal atributo que limita su vida útil postcosecha y su comercialización en fresco dado que los consumidores la asocian con frescura. Su pérdida no sólo influye en la apariencia del fruto ya que este pierde turgencia volviéndose blando y marchito, sino que también produce un aumento en la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos.

Asimismo, el ablandamiento no solo es causado por la deshidratación del fruto, sino que, principalmente, se atribuye a cambios en la composición y estructura de la pared celular resultantes de la acción combinada de las enzimas hidrolíticas asociadas a esta. Por un lado, el etileno estimula la actividad de las enzimas pectin-metilesterasa (PE), poligalacturonasa (PG) y β -galactosidasa (β -Gal) que actúan degradando la pectina, un importante componente de la pared celular, provocando la acumulación de pectinas solubles en agua (Wang, Zhou, Zhou, Zhang, & Ji, 2019). A su vez, por la acción de glucosidasas, ocurren otras modificaciones en componentes principales de la pared celular como la despolimerización de la hemicelulosa y la pérdida de arabinosa (Chen, y otros, 2015). Por otro lado, la fitohormona también promueve la degradación de la sacarosa por medio de la enzima invertasa, afectando no solo la firmeza del fruto al participar esta de la tensión celular por su importante rol en el proceso de osmorregulación, sino también el sabor de la fruta (Wang, Zhou, Zhou, Zhang, & Ji, 2019).

Producto del proceso de maduración, además del ablandamiento, se producen cambios bioquímicos y sensoriales. Uno de los más notables es el cambio en sabor que está dado por la relación entre los niveles de sólidos solubles totales y la acidez titulable (SST/AT).

Los SST, compuestos en su mayoría por azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y, en menor proporción, por ácidos orgánicos y ciertas proteínas, incrementan durante la maduración debido a la descomposición de la sacarosa en glucosa y fructosa, lo que produce un aumento en azúcares reductores. Asimismo, producto de la deshidratación también se percibe un aumento de su contenido: en este caso no por su obtención, sino porque aumenta su concentración al haber menos agua. Esta variable tiene importancia porque sus compuestos orgánicos no solo influyen en el sabor, sino también en el color y los atributos de calidad en general. Se determina mediante un refractómetro del que se lee el índice refractométrico expresado en °Brix que son equivalentes al valor de SST en porcentaje. De esta forma, niveles altos de °Brix reflejan estados de sobre madurez que llevan a aumentar el porcentaje de descarte de arándanos (González G., Jequier J., Ellena D., Contreras C., & San Martín, 2013).

En lo que respecta al pH, dado que los principales sustratos de la respiración son los ácidos orgánicos, en muchos casos, se produce una baja en la acidez con el consecuente incremento del pH durante el almacenamiento. Principalmente, el ácido cítrico, que es el que se detecta muy rápidamente en la degustación, es el que disminuye notoriamente por ser el ácido predominante, a diferencia del ácido málico que mantiene un nivel constante.

Considerando la variación que se da en cada uno de estos parámetros, la relación SST/AT también se altera afectando el sabor dulce acidulado característico de los arándanos. Puntualmente, durante el almacenamiento a temperatura ambiente, se observa un incremento en esta relación producto de la reducción de la AT y el incremento de los SST. En realidad, en el caso de los arándanos, este valor se ve afectado principalmente por la acidez más que por los

sólidos solubles, debido a que la evolución de estos últimos no es tan significativa durante la postcosecha (Feippe, Ibáñez, Fredes, Varela, & Lado, 2012).

El perfil de acidez no solo interviene en el sabor de las bayas si no también en el color del fruto y su sensibilidad a la putrefacción. En relación con esto último, se conoce que una alta acidez puede inhibir el crecimiento de microorganismos que causan la pudrición (Flores Riveros, 2019). Considerando la evolución del pH durante el almacenamiento, dicho periodo conlleva una mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos, favorecido, sobre todo, por el ablandamiento y el deterioro normal de los posibles mecanismos de defensa de los frutos contra los patógenos (France I., 2012).

Respecto al color, una de las características de las antocianinas es que estas cambian de color dependiendo del pH del medio. En condiciones ácidas imparten un color rojo y, a medida que disminuye la acidez, van virando a violeta y luego azul cuando se encuentran en un medio alcalino (Kuntzleman, 2020). Teniendo esto presente y considerando, por lo expuesto anteriormente, que el pH aumenta durante el almacenamiento, se espera en cuanto al color un oscurecimiento de las bayas. Además, producto del manipuleo postcosecha, la capa cerosa que recubre los frutos se daña o remueve fácilmente provocando una disminución significativa de la luminosidad (valor L^*) y un marcado aumento del valor b^* (variación amarillo-azul, siendo $+b^*$ para el primero y $-b^*$ para el otro) (Chu, Gao, Chen, Fang, & Zheng, 2017). Estos cambios de color durante el almacenamiento afectan profundamente la aceptabilidad por parte del consumidor porque alteran la apariencia atractiva de estos frutos, impartiendo una impresión de fruta de baja calidad.

Al mismo tiempo, también vinculado con la pigmentación, durante el almacenamiento a temperatura ambiente las antocianinas disminuyen fácilmente a la vez que aumentan los valores de color polimérico (Howard, Brownmiller, Mauromoustakos, & Prior, 2016), entendiéndose por este último el color debido a antocianinas copolimerizadas y reacciones de oscurecimiento. Esto se atribuye a que la estabilidad de estos compuestos fenólicos, al igual que su color, se ve fuertemente afectada por el pH: cuanto mayor es la acidez, mayor es su estabilidad. Por ello, a medida que aumenta el pH durante el almacenamiento, las antocianinas sufren reacciones de oxidación y/o condensación con otros compuestos fenólicos (Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Díaz-Díaz, Goyanes, & López-Córdoba, 2020) produciendo no solo cambios en el color, sino también en la cantidad de compuestos bioactivos presentes en los frutos.

El aumento del color polimérico se debe, principalmente, al fenómeno de copigmentación. Este se caracteriza por la interacción entre las antocianinas libres y una gran variedad de compuestos orgánicos fenólicos poco coloreados o incoloros, principalmente flavonoles, que se denominan copigmentos. Estos últimos se unen a las antocianinas para estabilizarlas y, al asociarse con el ion flavilio, lo protegen de la hidratación que es la causal de decoloración por la formación de la base carbinol que es incolora (Castañeda Vázquez, 2010; Busso Casati, 2016;

Guranizo Franco & Matínez Yepes, 2009). Este fenómeno conduce a la intensificación del color de los arándanos conforme transcurre el almacenamiento dado que hay un desplazamiento de las formas menos coloreadas de las antocianinas libres hacia las formas coloreadas, y, por otro lado, las propias antocianinas copigmentadas que se forman aportan mayor intensidad colorante que el catión flavilio (efecto hiperocrómico) (Busso Casati, 2016). Así, la copigmentación explica el aumento del parámetro cromático °h asociado al tono del color que se observa durante el almacenamiento.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las antocianinas, las cuales representan el componente mayoritario del contenido de compuestos fenólicos de las bayas, se conoce que, después de la cosecha, la concentración de estos aumenta alrededor del décimo día de almacenamiento y luego disminuye hacia el final. El aumento inicial se atribuye a la síntesis de antocianinas que tiene lugar como respuesta del metabolismo al estrés que puede producir las condiciones de almacenamiento, y, también, a la formación de los compuestos de condensación y poliméricos propios del fenómeno de copigmentación. Por su parte, el descenso posterior del contenido de compuestos fenólicos puede vincularse con la oxidación de estos por acción de las enzimas peroxidasa (POD) y polifenol-oxidasa (PPO), con su tendencia a experimentar reacciones de polimerización y con el comportamiento de las antocianinas dependiente del pH.

En conclusión, la mayoría de estos cambios fisiológicos y funcionales indeseables están relacionados con la respiración y transpiración del fruto. La primera produce pérdidas de valor nutritivo, calidad gustativa, oscurecimiento y pérdida de brillo del color de la piel, y la segunda, ablandamiento que se traduce en un deterioro de la calidad visible. Considerando que, junto con las pudriciones causadas por agentes patogénicos, estos son los procesos que más afectan la calidad postcosecha de los frutos, las tecnologías a implementar para prolongar su vida útil deben estar orientadas a disminuir la tasa respiratoria, regular la deshidratación y prevenir el ataque de microorganismos.

5.2.1 ENFERMEDADES EN ARÁNDANOS POSTCOSECHA

Las enfermedades postcosecha más frecuentes que afectan a estos frutos son la pudrición gris, la blanda y la negra, y antracnosis. Sin embargo, la susceptibilidad a podredumbres de origen fúngico depende de la variedad del cultivo, las características epidérmicas del fruto y la época de cosecha (Murray, Candan, & Vázquez, 2019). En cualquiera de los casos, la incidencia de ataques patogénicos es, junto con el ablandamiento, la principal causante de podredumbres de arándanos que puede acabar con grandes pérdidas económicas.

La pudrición gris o botritis causada por *Botrytis cinérea* (Figura 6) es de las enfermedades más habituales en la postcosecha. Si bien la infección proviene desde el campo, la mayor expresión de síntomas se alcanza en los frutos maduros. Provoca ablandamiento de la fruta, tonalidad opaca, liberación de jugo, deshidratación, fácil desprendimiento de la epidermis y

desarrollo de nidos de micelio blanquecinos sobre los cuales posteriormente, si la humedad ambiente es alta, pueden proliferar estructuras reproductivas del patógeno como conidióforos y conidios que imparten un color plumizo a los tejidos (France I., 2012; France I., 2013). Se trata de un hongo capaz de crecer a 0°C, lo cual hace que su desarrollo no pueda ser controlado únicamente mediante el manejo de la temperatura, sino que deba complementarse con el uso de otras tecnologías postcosecha como atmósfera modificada, controlada y/o el uso de anhídrido sulfuroso (SO₂) (Defilippi Bruzzone, Rivera Smith, & Arriola Santibañez, 2017). La prevención de esta enfermedad es fundamental para reducir daños, teniendo en cuenta que los frutos maduros al ser muy susceptibles a este patógeno se contaminan fácilmente si hay alrededor otros enfermos.

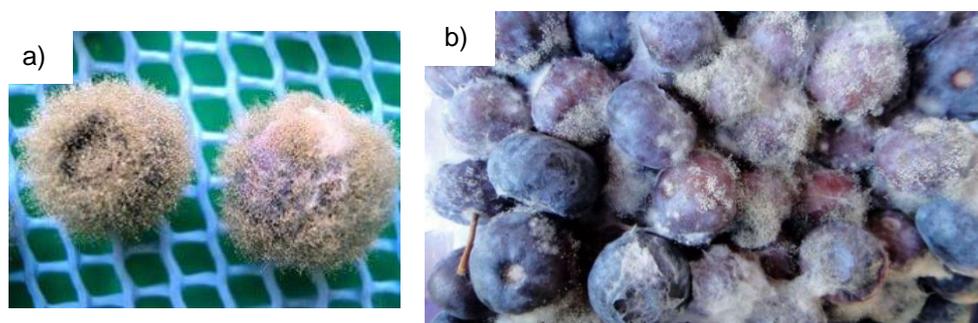


Figura 6: Micelio (a) y estructuras reproductivas (b) de *Botrytis cinérea* en frutos de arándano.

Fuente: France I. (2012).

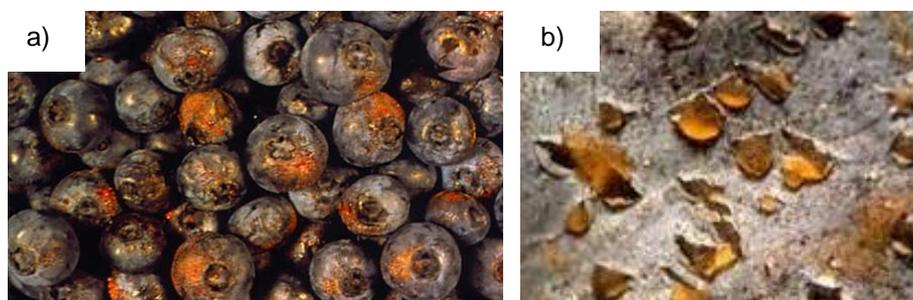


Figura 7: Antracnosis en arándanos: (a) frutos deshidratados y con acérvulos anaranjados, (b) epidermis del fruto con estados reproductivos de *Colletotrichum acutatum*.

Fuente: Anthracnose (s.f.) y France I. (2012).

Otra de las enfermedades que parten desde la floración, pero cuya mayor expresión sintomática se observa en la postcosecha, es la antracnosis (Figura 7). Este comportamiento se debe a que, en la etapa de madurez comercial, la acumulación de azúcares es mayor y, por ende, suficiente para favorecer el desarrollo del agente causal de la enfermedad, en este caso, el hongo *Colletotrichum acutatum*. Los síntomas asociados a esta alteración patológica son la aparición de acérvulos anaranjados en la epidermis de los frutos y la deshidratación conforme se desarrolla el hongo (France I., 2013). Además, en condiciones de alta HR, por las heridas que

causan los acérvulos exudan conidios que escurren a frutos sanos, contaminándolos y causando importantes pérdidas. Puntualmente, no hay un método específico para controlar esta patología, sino que se utilizan las mismas técnicas que para la botritis.

Por su parte, la pudrición blanda (Figura 8) se debe al hongo *Rhizopus stolonifer*, el cual se desarrolla netamente en la etapa de postcosecha, especialmente en los cuartos de almacenaje donde las esporas de este hongo se propagan fácilmente a través del aire. Los síntomas vinculados a esta infección son muy similares a los de la pudrición gris, pero se diferencia por el crecimiento sobre los frutos de largos esporangióforos que terminan en una vesícula de color negro (France I., 2012). En este caso, la infección se controla a partir de una buena higiene durante los procesos de cosecha y embalaje, y el manejo de la temperatura, ya que estos hongos no crecen a temperaturas inferiores a 5°C.



Figura 8: Micelio y esporangios de *Rhizopus* emergiendo desde una herida.

Fuente: France I. (2012).

En cuanto a la pudrición negra, esta se atribuye al hongo *Alternaria tenuissima* (Figura 9) y, en Argentina, tiene mayor prevalencia que otras podredumbres de postcosecha, incluyendo la botritis (Murray, Candan, & Vázquez, 2019). Esta infección se asocia a frutos con polvo, sobre maduros, golpeados y con heridas, y su sintomatología asociada es la deshidratación en la zona afectada y el desarrollo de conidios negros sobre los frutos (France I., 2012).

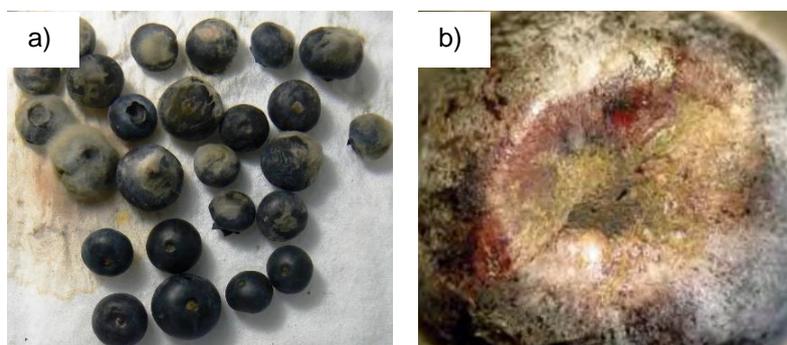


Figura 9: (a) Arándanos contaminados por *Alternaria tenuissima* y (b) deshidratación y desarrollo de conidios negros causadas por *Alternaria*.

Fuente: Farías, Torres Leal, & Felipe (2015) y France I. (2012).

5.3 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

En el último tiempo, ha habido un creciente interés en el desarrollo de recubrimientos y películas comestibles (RCs y PCs, respectivamente), y su implementación en frutas y hortalizas como tratamiento postcosecha para aminorar el deterioro causado durante el almacenamiento.

Esto se atribuye, por un lado, a la necesidad de apaciguar el incremento sustancial de pérdidas y desperdicio de alimentos que trae apareados numerosos problemas. No solo afecta notablemente al medioambiente y, en consecuencia, a los seres que habitamos en él, sino que también tiene un impacto económico y social; convirtiéndose en una problemática global. Por otro lado, también tienen un rol protagonista las continuas exigencias en reducir el impacto ambiental que genera la utilización de plásticos de origen petroquímico en envases de un solo uso. Esto se debe tanto a que provienen de un recurso natural no renovable, como también a su prolongada persistencia en el medioambiente a causa de su resistencia a la degradación microbiana. A nivel mundial, los principales usuarios de envases plásticos son las empresas productoras de alimentos y bebidas, por lo que el compromiso de encontrar alternativas es aún mayor. Por ello, en lo que respecta a la conservación de la calidad de frutas y hortalizas, se plantea la utilización de RCs y PCs para, entre otros propósitos, reemplazar las bolsas plásticas no biodegradables empleadas en el tratamiento de atmósfera modificada, una de las tecnologías más ampliamente utilizadas.

Los RCs y las PCs se definen como una capa delgada de mezcla de materiales comestibles que se aplica sobre la superficie de frutas y hortalizas. La diferencia entre ambos radica en la forma de elaborarlos y aplicarlos sobre los alimentos: las películas son preformadas, es decir se forman independientemente y luego son colocadas sobre el alimento, mientras que los recubrimientos se forman directamente sobre el producto a recubrir (Solano-Doblado, Alamilla-Beltrán, & Jiménez-Martínez, 2018). En cualquiera de los casos, son biodegradables y tienen la capacidad de crear una atmósfera modificada alrededor del alimento. Por ello, constituyen una alternativa prometedora para reemplazar el uso del otro tratamiento y reducir la contaminación por plásticos.

Enfatizando en los RCs, su principal función es retardar el proceso de deterioro natural de las frutas y hortalizas para conservar la apariencia de un producto fresco y las cualidades organolépticas originales del alimento. Puntualmente, actúan como una barrera física semipermeable al intercambio de gases, provocando una disminución en la concentración de O₂ y un aumento en la de CO₂ (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013). Esta modificación en la concentración de gases no solo reduce la tasa de respiración y, por lo tanto, el consumo de las sustancias de reserva, sino que también inhibe la acción de las enzimas responsables del catabolismo de la pared celular, retrasando el ablandamiento (Falagán, Miclo, & Terry, 2020). A su vez, bajas concentraciones de O₂ también reducen la síntesis y, por ende, la acción del etileno, ya que la enzima ACC oxidasa, que cataliza la transformación del ácido 1-aminociclopropano-1-

carboxílico a etileno, el último paso de la ruta de síntesis del etileno, requiere O₂ como sustrato (Calvo, Candan, Colodner, & Gomila, 2018).

Por otro lado, dependiendo de su composición, los recubrimientos también crean una barrera a la transferencia de vapor de agua, retrasando la deshidratación y el marchitamiento. Además, en base a su formulación, también pueden ser capaces de reducir la actividad de algunos microorganismos patógenos y, así, disminuir la incidencia de pudrición.

5.3.1 PROPIEDADES Y REQUERIMIENTOS

Los recubrimientos son considerados aditivos alimenticios porque, principalmente, se utilizan con el propósito de aumentar la capacidad de conservación y no de nutrir. Por ello, deben cumplir con la reglamentación vigente para los mismos establecida en el Código Alimentario Argentino. Sus componentes deben ser inocuos, es decir no pueden causar efectos perjudiciales para la salud humana, y sus propiedades organolépticas deben ser compatibles con las del alimento a recubrir. Además, idealmente, deben ser transparentes y no detectados durante su consumo, sumado a que la tecnología para su elaboración debe ser simple, y las materias primas y el coste de producción de bajo costo (Del Valle Soazo, 2012).

Una de las propiedades más importantes de los RCs es su permeabilidad a los gases y al vapor de agua. Esto se atribuye a su principal función de limitar la pérdida de humedad y la absorción de oxígeno por parte de la fruta u hortaliza con el propósito de reducir su tasa de respiración. Específicamente, para que sean capaces de retardar los sucesos indeseables que ocurren durante el almacenamiento de frutas y vegetales, el intercambio gaseoso entre el alimento y el ambiente que lo rodea debe alcanzar el equilibrio adecuado. Esto significa que las intensidades de transmisión de O₂ y CO₂ a través del recubrimiento deben ser iguales a la intensidad de respiración del alimento (Arnaldos Cantero, 2008).

Al recubrir una fruta o vegetal, producto de la respiración, la concentración interna de O₂ disminuye a medida que aumenta la de CO₂. Por este motivo, si el recubrimiento es poco permeable, la concentración de O₂ puede caer por debajo del 1% generando condiciones de anaerobiosis con la consecuente acumulación de etanol, acetaldehído y ácidos orgánicos que pueden resultar en olores y sabores desagradables. De forma contraria, si este es muy permeable, no se producirá la atmósfera modificada. Lo mismo ocurre con la permeabilidad al vapor de agua, si el RC no tiene buenas propiedades de barrera, la pérdida de peso causada por la transpiración será significativa, provocando el marchitamiento del alimento.

La permeabilidad, como tantas otras propiedades fisicoquímicas de los RCs, se ve directamente afectada por el espesor de estos. Cuando este es muy grueso, el intercambio gaseoso se puede ver restringido afectando la atmósfera interna e induciendo condiciones de anaerobiosis con sus respectivas consecuencias en el sabor y aroma del alimento. En

contraparte, el grosor es favorable para disminuir la pérdida de humedad ya que, a medida que este aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través del recubrimiento, incrementando, en consecuencia, la presión parcial de vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior de este (Morales Reyes, 2011). A su vez, el espesor también repercute sobre el color, transparencia, opacidad aparente, solubilidad y respuesta mecánica de los RCs. Concretamente, es una característica que varía según el contenido en sólidos de la formulación, la densidad, viscosidad, tensión superficial y velocidad de secado del recubrimiento (Navarro Tarazaga, 2007).

Por otro lado, la permeabilidad también se ve afectada por la capacidad del RC para alcanzar ciertas temperaturas. Especialmente, aquellas que son cercanas a las temperaturas de transición vítrea y/o de fusión de los materiales base del recubrimiento en las que los coeficientes de transferencia de masa sufren modificaciones apreciables debido a los cambios estructurales de los polímeros. Dichos coeficientes tales como la permeabilidad y difusividad siguen el comportamiento descrito por la ley de Arrhenius.

Junto con la permeabilidad, las propiedades mecánicas también son de gran consideración a la hora de elaborar RCs. Estas determinan: la capacidad de estos para formar una capa continua con buena integridad física en torno al fruto, su durabilidad y su resistencia a la manipulación (Navarro Tarazaga, 2007). Principalmente, se tienen en cuenta la resistencia a la tracción y la abrasión, la capacidad de elongación y la rigidez, es decir, la fuerza requerida para romper la capa por estiramiento, la resistencia al desgaste por la manipulación, el grado al cual la película puede estirarse antes de la ruptura y su flexibilidad, respectivamente (García, Delgado, Escamilla, García, & Regalado, 2018). Todas estas propiedades dependen de factores inherentes de los RCs como lo son su composición, espesor y técnica de fabricación y aplicación. En particular, están directamente ligadas con el grado de cohesión de las moléculas que constituyen la formulación (Pastor Navarro, 2010).

Dependiendo cuál sea la finalidad del RC y las características del alimento, las propiedades mecánicas ideales difieren. Sin embargo, indefectiblemente, se busca buena ductilidad de estos para que puedan adaptarse a posibles deformaciones del alimento como los cambios de volumen de las frutas causados por la deshidratación que experimentan (Navarro Tarazaga, 2007). Además, es importante que cuenten con buena tenacidad de modo que puedan mantener su integridad durante su manejo, envasado y transporte. Siguiendo la misma línea, independientemente de cuál sea su funcionalidad, otra de las propiedades fundamentales es su estabilidad frente a las distintas condiciones de almacenamiento. Específicamente, su estabilidad térmica es un indicador importante debido a los cambios de temperatura a los que están expuestos, incluyendo el secado y la refrigeración.

La efectividad de los RCs depende, además de todas las características ya mencionadas, de la capacidad de adhesión de estos al alimento. Esta propiedad está influenciada, en gran medida,

por la humectabilidad de la solución del recubrimiento, la cual depende de la tensión superficial de la misma. A la hora de aplicar un RC, se espera que la solución se esparza sobre la superficie del alimento de forma uniforme y que, al secarse, tenga adherencia a esta (Choi, Park, Ahn, Lee, & Lee, 2002). Por ello, para mejorar la humectabilidad, muchas veces es necesario agregar un tensioactivo que reduzca la tensión superficial de la solución del recubrimiento (Choi, Park, Ahn, Lee, & Lee, 2002). Además, la humectabilidad también influye en el espesor y la uniformidad de los RCs, cualidades que repercuten en la permeabilidad y las propiedades mecánicas de estos (Casariego, y otros, 2008). Asimismo, las fuerzas de atracción entre la capa protectora y el sustrato constituyen un factor determinante para asegurar la alta durabilidad de esta en torno al alimento (Morales Reyes, 2011).

5.3.2 COMPOSICIÓN DE LOS RCs

La composición de los RCs puede ser muy variada, pero, cualquiera sea el caso, la materia prima utilizada en su formulación debe ser obtenida de fuentes naturales para asegurar su biodegradabilidad, es decir, que pueda ser descompuesto por la acción enzimática de microorganismos en condiciones ambientales naturales de humedad y temperatura. Los polímeros de origen natural, como polisacáridos, proteínas y lípidos, constituyen la mejor materia prima para el desarrollo de RCs biodegradables que sean amigables tanto con el medio ambiente como con la producción industrial. Esto se debe a su alta eficacia y bajo costo económico ya que pueden obtenerse de los desechos agrícolas.

A la hora de escoger los biopolímeros adecuados para la elaboración de RCs, se deben considerar sus características fisicoquímicas (composición, forma y masa molecular, polaridad y solubilidad en agua), las características del alimento que va a ser cubierto, y, también, las condiciones a las que van a ser sometidos dichos recubrimientos, por ejemplo, durante el almacenamiento (Ortiz Choez, 2015), ya que de estas depende el impacto que cause el recubrimiento sobre la vida útil de la fruta o vegetal. Los diferentes tipos de biomateriales (polisacáridos, proteínas y lípidos) utilizados en la formulación de los RCs les imparten diferentes propiedades y funciones porque estas están ligadas a la composición química y estructural de los mismos. Puntualmente, la composición se puede clasificar en hidrocoloidal, lipídica o mixta; y las principales propiedades que difieren según la composición son las mecánicas y las de barrera contra el vapor de agua, el O₂ y el CO₂.

5.3.2.1 HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides son polímeros de origen vegetal, animal o microbiano, los cuales ofrecen muy buenas propiedades de barrera para el O₂ y CO₂, pero no así para el vapor de agua por sus características hidrofílicas. Se trata de un término que se aplica para referirse tanto a polisacáridos como proteínas. En su mayoría, ambos biopolímeros tienen propiedades

mecánicas deseables dado que, por su naturaleza polimérica, tienen la capacidad de formar numerosas uniones intermoleculares que resultan en una buena cohesión estructural (Pastor Navarro, 2010). El alto grado de interacción entre las moléculas no solo les permite ejercer de matriz estructural del recubrimiento, sino que también reduce el volumen libre para la difusión de materia, confiriéndole una muy baja permeabilidad (Navarro Tarazaga, 2007). No obstante, excesivas interacciones reducen la movilidad de las moléculas, resultando en capas más rígidas.

El grado de cohesión del material depende de la naturaleza de las moléculas que lo conforman, es decir, su estructura química, incluyendo su geometría molecular, polaridad y peso molecular, porque de esta depende el tipo de fuerzas intermoleculares que pueden darse. Puntualmente, la carga que aportan los polímeros es determinante para las características de los RCs que vayan a formar. Por ejemplo, los alginatos y las pectinas requieren la adición de un ion polivalente, usualmente calcio, para facilitar la formación del RC (Ortiz Choez, 2015).

En términos generales, las proteínas exhiben mejores propiedades mecánicas que los polisacáridos porque por su carácter iónico y linealidad molecular presentan mayor interacción molecular que los otros, constituyendo una mejor barrera para el oxígeno (Navarro Tarazaga, 2007). Sin embargo, si la difusión de materia se ve extremadamente limitada puede resultar en una característica perjudicial por la acumulación de CO₂ que es nocivo para el tejido de la fruta o vegetal (Aday & Caner, 2010). Por esta razón, como regla general, los polisacáridos se consideran más apropiados para controlar el intercambio gaseoso, mientras que las proteínas se caracterizan por proporcionar estabilidad mecánica (Embuscado & Huber, 2009).

Concretamente, los polisacáridos actúan como barrera eficaz para el intercambio gaseoso porque presentan grupos funcionales que interaccionan mediante enlaces puente de hidrógeno conformando una ordenada red de enlaces que disminuye la permeabilidad al oxígeno (Al-Tayyar, Youssef, & Al-Hindi, 2020). Por su parte, las proteínas, al ser susceptibles a la desnaturalización conformacional por agentes fisicoquímicos, tienen la ventaja de poder ser modificadas estructuralmente para mejorar las interacciones intermoleculares y así optimizar las propiedades de los RCs obtenidos, de forma tal que se ajusten a los requerimientos particulares de cada alimento (Del Valle Soazo, 2012).

Los RCs a base de polisacáridos son los más utilizados en la industria alimentaria. Estos pueden adherirse a la superficie de las frutas y vegetales, y tienen la ventaja de tener bajas calorías, ser incoloros y no ser grasosos (Al-Tayyar, Youssef, & Al-Hindi, 2020). Por otro lado, los que son a base de proteínas, aumentan el valor nutricional del alimento porque, con su presencia, el contenido proteico ingerido es superior. Pese a ello, emplear estos últimos biopolímeros tiene una gran desventaja que es la existencia de un sector considerable de la población que es alérgico a diferentes proteínas tanto de origen animal como vegetal. Puntualmente, los alérgenos más importantes son la proteína del trigo, la leche y la soja, que a su vez son las principales proteínas empleadas en formulaciones (Embuscado & Huber, 2009).

Estudiando los RCs elaborados específicamente para testear en arándanos, los componentes mayormente empleados en dichas formulaciones son los polisacáridos, destacándose el quitosano y el alginato. Otros hidrocoloides como pectinas, gomas, mucílagos y derivados de la celulosa y el almidón también se han empleado para la formulación de RCs, algunos tanto para arándanos como para otros sustratos.

5.3.2.1.1 Quitosano

El quitosano es un derivado de la quitina y está última es un biopolímero que forma parte importante de la estructura de los invertebrados, principalmente de los caparzones de los crustáceos y de los moluscos, al igual que de las paredes celulares de varios hongos y algas. De hecho, es el segundo polisacárido más abundante y distribuido en la naturaleza después de la celulosa.

La estructura química de la quitina, al igual que la del quitosano, consiste en glucopiranosas unidas por enlaces β -1,4 (Martínez Camacho, 2009). Específicamente, la primera está compuesta por amino azúcares, como la N-acetil-D-glucosamina, que se unen linealmente formando estructuras cristalinas, semejantes a las de la celulosa (Badui Dergal, 1990), por lo que se la puede considerar un derivado de esta. Por su parte, el quitosano es un polisacárido de alto peso molecular obtenido por desacetilación de la quitina en medio alcalino, es decir, por sustitución de los grupos acetamida por grupos amino. Habitualmente, el quitosano disponible comercialmente está desacetilado en, aproximadamente, un 85% (Embuscado & Huber, 2009), por lo que su composición está dada por unidades β -(1-4) D-glucosamina (unidad deacetilada) y N-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada) distribuidas aleatoriamente. Así, la estructura química de la quitina es poli- $[\beta$ -(1-4)-2-acetamida-2-desoxi-D-glucopiranososa], mientras que la de su derivado es poli- $[\beta$ -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucopiranososa] (Figura 10), siendo ambos polisacáridos lineales.

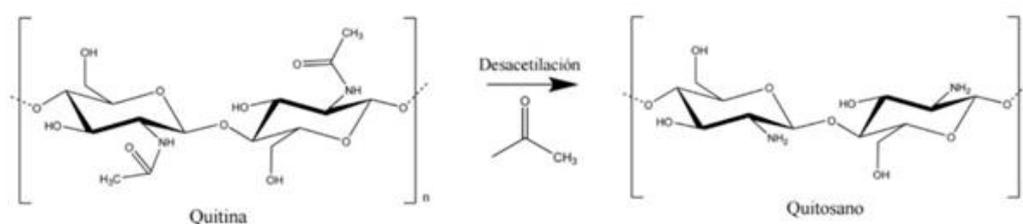


Figura 10: Reacción de desacetilación de la quitina para la obtención de quitosano, esquematizando la estructura química de cada uno de ellos.

Fuente: Ortega Cardona & Aparicio Fernández (2020).

Los grupos amino del quitosano hacen que a pH neutro este sea insoluble en agua. Sin embargo, a pH inferior a 6, puede solubilizarse en soluciones acuosas de ácido acético y otros

ácidos orgánicos diluidos por la protonación de dicho grupo funcional. La naturaleza del solvente, así como el grado de desacetilación y peso molecular del quitosano, pueden influenciar las propiedades del recubrimiento obtenido. Como la mayoría de los RCs a base de polisacáridos, el quitosano ofrece ligera resistencia a la difusión de vapor de agua. No obstante, estudios demuestran que mientras menor es el grado de desacetilación y mayor el peso molecular, la permeabilidad al vapor de agua es más baja (Kim, Son, Kim, Weller, & Hanna, 2006). A su vez, en dicho trabajo se observó que los recubrimientos elaborados con ácido acético o propiónico presentan menor permeabilidad al vapor de agua que los elaborados con otros solventes como ácido láctico o fórmico.

Una de las principales deficiencias de los RCs formulados únicamente a base de quitosano o quitosano no modificado es que son frágiles. Esto se atribuye a la alta temperatura de transición vítrea de este polímero, es decir la temperatura a la cual el quitosano pasa de un estado amorfo vítreo (rígido y quebradizo) a un estado blando y maleable (Azeredo, De Britto, & Assis, 2010). Sin embargo, esto puede corregirse mediante modificaciones químicas o enzimáticas, o por el agregado de diferentes aditivos como plastificantes. Una buena alternativa para mejorar las propiedades mecánicas es, por ejemplo, la alquilación. Esto se debe a que el resto alquilo puede reducir los enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares, aumentando la movilidad de las cadenas de polímero y, en consecuencia, reduciendo la temperatura de transición vítrea y mejorando la flexibilidad y elongación del recubrimiento (Azeredo, De Britto, & Assis, 2010).

El quitosano, además de ser biodegradable, presenta susceptibilidad a ser hidrolizado en la cavidad bucal del cuerpo humano por acción de la enzima lisozima que se encuentra en los fluidos corporales como la saliva (Martínez Camacho, 2009). Principalmente, este se distingue por ser uno de los pocos polisacáridos catiónicos y exhibir propiedades antimicrobianas contra una gran variedad de microorganismos. No solo presenta actividad antimicrobiana contra bacterias Gram positivas y negativas, sino que también puede controlar el crecimiento de hongos como *A. tenuissima*, *B. cinérea* y *C. acutatum* que son los que habitualmente afectan a los arándanos.

La acción antimicrobiana del quitosano se puede atribuir a su estructura química. Por un lado, presenta un grupo amino con carga positiva a pH inferior a 6.3 (pKa del quitosano), el cual interactúa con las cargas negativas de la pared celular de los microorganismos (Ayala Valencia, 2015). Esta interacción electrostática provoca la destrucción o lisis de estas estructuras derivando en la filtración de compuestos proteicos y otros constituyentes intracelulares, y causando la muerte celular. Por otro lado, debido a su propiedad quelante, atribuible a las interacciones que pueden darse entre los grupos amino y metales, puede ligar selectivamente metales vitales para los microorganismos como Ag^+ , Cu^{+2} y Zn^{+2} que se encuentran en sus estructuras externas, y privarlos de los mismos (Mármol, y otros, 2011; Azeredo, De Britto, & Assis, 2010).

Al igual que las propiedades físicas y mecánicas, la actividad antimicrobiana también varía en función de las características del quitosano. Por ejemplo, mientras mayor es el grado de desacetilación, la eficacia antimicrobiana se intensifica porque aumenta la solubilidad del quitosano y la densidad de carga, mejorando la adhesión de este a las células microbianas (Aider, 2010). Asimismo, dicho trabajo también da cuenta de que valores bajos de pH del medio, al incrementar la solubilidad y protonación del quitosano, también favorecen la eficacia antimicrobiana. Por otro lado, la densidad de carga de la superficie de los microorganismos también es un factor determinante que repercute en el efecto antimicrobiano ya que mientras mayor sea, mayor será la cantidad de quitosano adsorbido y, por ende, se evidenciará mayor destrucción de las estructuras de los microorganismos (Azeredo, De Britto, & Assis, 2010).

Este polímero de origen biológico tiene la capacidad de formar soluciones viscosas que, al dejar evaporar el solvente, constituyen recubrimientos con permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂. Esto, sumado a su naturaleza biodegradable y biocompatible, y su capacidad para limitar el desarrollo de patógenos, lo convierte en un material ampliamente utilizado en la formulación de RCs para retardar el proceso de maduración de frutas y hortalizas. Cabe mencionar que, en aplicaciones alimentarias, como en este caso, es conveniente utilizar quitosano extraído de hongos más que de crustáceos, considerando que el obtenido a partir de este último es potencialmente alergénico (Mannozi, y otros, 2018). Sumado a ello, los hongos tienen la ventaja de poseer una alta tasa de crecimiento, estar fácilmente disponibles y que el coste para su cultivo sea bajo al utilizar subproductos que contienen celulosa de las industrias del papel y la alimentación (Vo & Kim, 2014).

5.3.2.1.2 Alginatos

Los alginatos o sales del ácido algínico son polisacáridos aniónicos lineales provenientes de la pared celular de diferentes especies de algas pardas pertenecientes a la clase Phaeophyceae, siendo la principal fuente la especie *Macrocystis pyrifera*. El ácido algínico es un co-polímero compuesto por unidades de ácido α -L-gulurónico (G) y ácido β -D-manurónico (M) (Figura 11a) unidas por enlaces β -1,4 (Méndez Reyes, Quintero Cerón, Váquiro Herrera, & Solanilla Duque, 2015), que, en presencia de metales alcalinos, a través del intercambio iónico, forma geles irreversibles con potencial para utilizar como RC.

La cadena polimérica del alginato está compuesta por 3 regiones en diferente proporción y distribución dependiendo de la especie, edad y condiciones de crecimiento del alga. Estas son: un bloque G formado únicamente por ácido α -L-gulurónico, uno M compuesto por ácido β -D-manurónico, y uno mixto, MG, conformado por unidades alternas de ambos ácidos (Figura 11b y 11c) (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh, & Masoudpour-Behabadi, 2016). La relación cuantitativa entre los ácidos M y G y su distribución, sumado al peso molecular final, determinan las propiedades mecánicas de los geles de alginato por la conformación estructural que se

adquiere en cada caso. De esta forma, alginatos con mayor cantidad de M resultan en un gel dúctil, flexible, elástico y con poca sinéresis, mientras que los que tienen más G, en uno más consistente, rígido, quebradizo y con sinéresis (Herrera Silva, 2015).

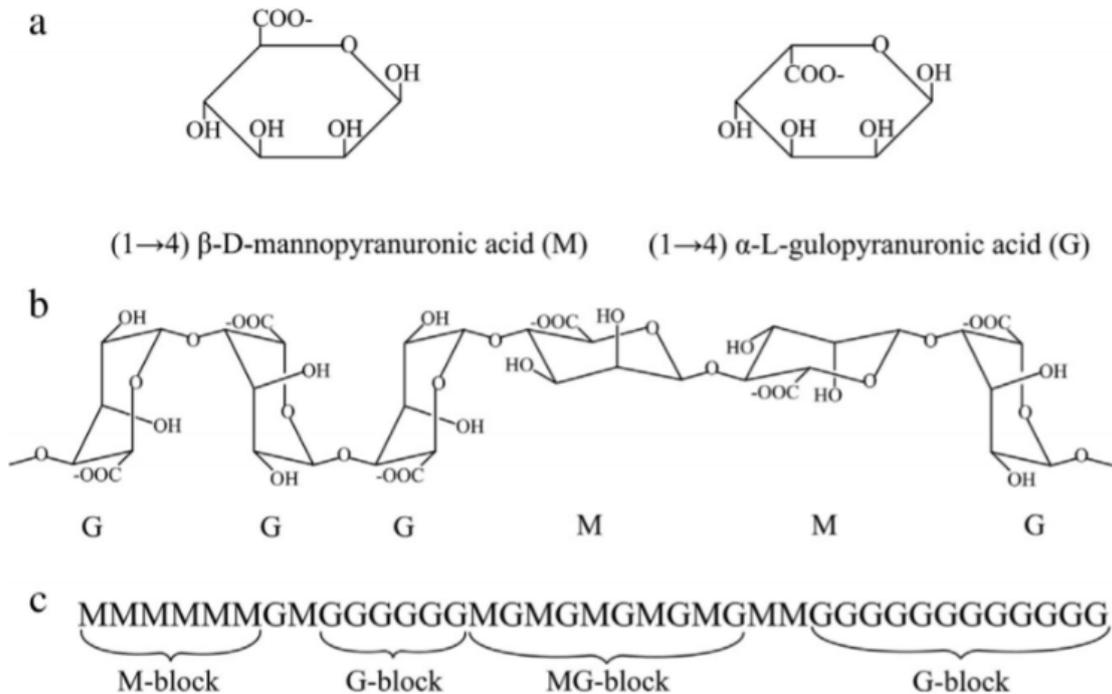


Figura 11: (a) Estructura química de los monómeros del alginato: ácido β -D-manurónico (izquierda) y ácido α -L-gulurónico (derecha). (b) Conformación de la cadena de alginato. (c) Ejemplo de distribución de los bloques de alginato.

Fuente: Meng & Liu (2013).

En presencia de iones multi o divalentes, generalmente Ca^{+2} , residuos de G contiguos se unen por la interacción iónica entre los grupos carboxilo libres (COO^-) de estos, a los cuales se debe el carácter aniónico del polisacárido, y los iones calcio. Producto de esta interacción, el alginato sufre cambios conformacionales dando lugar a una estructura conocida como “caja de huevos” basada en la dimerización de la cadena (Rojas Graü, 2006), donde los huevos representan los átomos de calcio y los cartones, las cadenas de polisacárido (Figura 12). Por ello, mientras mayor sea la cantidad de G presente en el alginato y la cantidad de iones añadidos, mayor será el grado de asociación entre las cadenas de alginato, formando una estructura reticulada más densa que da lugar a geles más rígidos, con menor contenido de agua y reducida permeabilidad (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh, & Masoudpour-Behabadi, 2016). Así, eligiendo el tipo de alginato y regulando la cantidad de catión añadido se puede producir una matriz con las características deseadas.

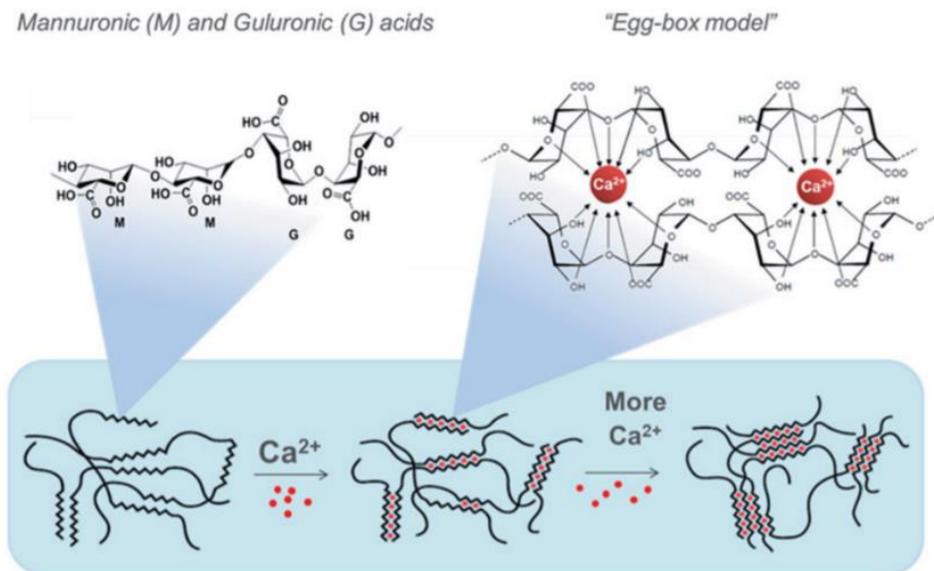


Figura 12: Representación esquemática de la interacción entre el catión divalente calcio y los monómeros G del alginato basada en el modelo de gelificación de "caja de huevos".

Fuente: Martins, Poncelet, Rodrigues, & Renard (2017).

El alginato es uno de los biopolímeros más usados, no solo por su naturaleza biodegradable y no tóxica, sino también debido a su propiedad gelificante en presencia de cationes metálicos polivalentes, su habilidad como espesante y su capacidad de absorber grandes volúmenes de agua y de formar RCs con buenas propiedades y funcionalidades (Avendaño-Romero, López-Malo, & Palou, 2013). Además, cuenta con la ventaja adicional de que el hombre no tiene enzimas capaces de degradar este polisacárido por lo que, al ingerirlo, se comporta como una fibra dietaria: favorece la saciedad y reduce la ingesta de comida, contribuyendo a la prevención de la obesidad (Pereira & Cotas, 2020).

Los RCs a base de alginato pueden ser solubles en agua o no, utilizando alginato de sodio o calcio respectivamente. Generalmente, las formulaciones son en base al segundo porque producto del entrecruzamiento con cationes divalentes o polivalentes, además de volverse insolubles en agua, las estructuras que se forman son más rígidas y estables (Pereira & Cotas, 2020). En contraparte, los alginatos en presencia de cationes monovalentes no forman geles como tampoco los alginatos con Mg^{+2} (Sutherland, 1991). A su vez, el hecho de que sean resistentes a disolverse en agua les confiere el potencial para poder recubrir eficientemente frutas con alto contenido de humedad (Tapia, y otros, 2007).

El ácido alginico se extrae del alga en forma de alginato de sodio por lo que, para elaborar RCs de alginato de calcio, tradicionalmente, se emplea el método de gelificación externa. Este consiste en exponer directamente la solución de alginato de pH neutro a la solución de iones gelificantes. El Ca^{+2} solubilizado en agua desplaza el ion sodio proveniente de la sal de alginato, interacciona con los bloques G de diferentes moléculas poliméricas entrelazándolas entre sí y,

así, debido a la difusión de iones, se forma un gel homogéneo térmicamente irreversible sobre el alimento (Avendaño-Romero, López-Malo, & Palou, 2013). La principal fuente de calcio es el CaCl_2 debido a su mayor porcentaje de calcio disponible y la alta velocidad de gelificación que tiene; sin embargo, a pesar de su alta solubilidad a 20°C , imparte un sabor amargo en el alimento, lo cual no es una característica deseable en la formulación de RCs (Lee & Rogers, 2012). Por esta razón, para aplicaciones de este tipo en las que el sabor constituye un atributo muy importante o cuando ese sabor amargo no puede enmascarse, es preferible el gluconoato de calcio o lactato de calcio.

Los RCs elaborados con alginato de calcio tienen buenas propiedades de barrera frente al O_2 y lípidos, pero no así frente al vapor de agua, al igual que el resto de los hidrocoloides. Esta carencia puede contrarrestarse utilizando alginatos con mayor proporción de G y añadiendo mayor cantidad de cationes Ca^{+2} (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh, & Masoudpour-Behabadi, 2016). No obstante, cabe mencionar que cuanto más elevada sea la proporción de cationes Ca^{+2} , mayor será el riesgo de que se produzca la sinéresis del gel, nunca deseable (Herrera Silva, 2015). Si bien la permeabilidad al vapor de agua tiende a ser menor, las propiedades mecánicas del RC resultante, en estos casos, son deficientes, por lo que deben ser mejoradas con el agregado de un agente plastificante como el glicerol. Este aumenta la movilidad molecular del polímero y disminuye las fuerzas intermoleculares, otorgando flexibilidad, ductilidad y elasticidad al material.

5.3.2.1.3 *Pectina*

La pectina representa otro de los hidrocoloides ampliamente utilizados en formulaciones de RCs por sus propiedades gelificantes en soluciones acuosas. Este polisacárido no solo constituye RCs, sino que también tiene otras aplicaciones tanto en la industria alimentaria como en productos cosméticos y farmacéuticos por sus propiedades espesantes y emulsionantes, además de su capacidad de solidificación en forma de gel. Se trata de un polisacárido lineal ácido, aniónico, de alto peso molecular y soluble en agua que está aprobado por la FDA como sustancia “Generalmente Reconocida como Segura” (GRAS) para ser utilizada en alimentos sin otra limitación más que la de buenas prácticas de fabricación (Listing of Specific Substances Affirmed as GRAS - Pectins, 2020). Específicamente, es el éster metilado del ácido poligalacturónico.

Su estructura química está compuesta principalmente por tres dominios poliméricos: homogalacturonanos (HG), ramnogalacturonano I (RG I) y ramnogalacturonano II (RG II) (Figura 13b). El primero está formado por residuos de ácido D-galacturónico (D-GalA) unidos mediante enlaces α -1,4 glicosídicos y representa el esqueleto de la molécula de pectina (Figura 13a). RG I, a diferencia de HG, es altamente ramificado. Consiste en restos de L-ramnosa intercalados mediante enlaces α -1,2 en la cadena principal, es decir, está compuesto por repeticiones del

disacárido [(1→2)-α-L-Rha-(1→4)-α-D-GalA]. Los residuos de ramnosa, a su vez, pueden contar con sustituciones en el O4 compuestas por azúcares neutros como galactosa, arabinosa, glucosa y xilosa. Por último, RG II es el dominio más complejo. También está formado por cadenas de HG, pero sus cadenas laterales contienen 12 tipos diferentes de residuos glicosilados, entre ellos varios azúcares poco comunes como apiosa, ácido acérico, etc.

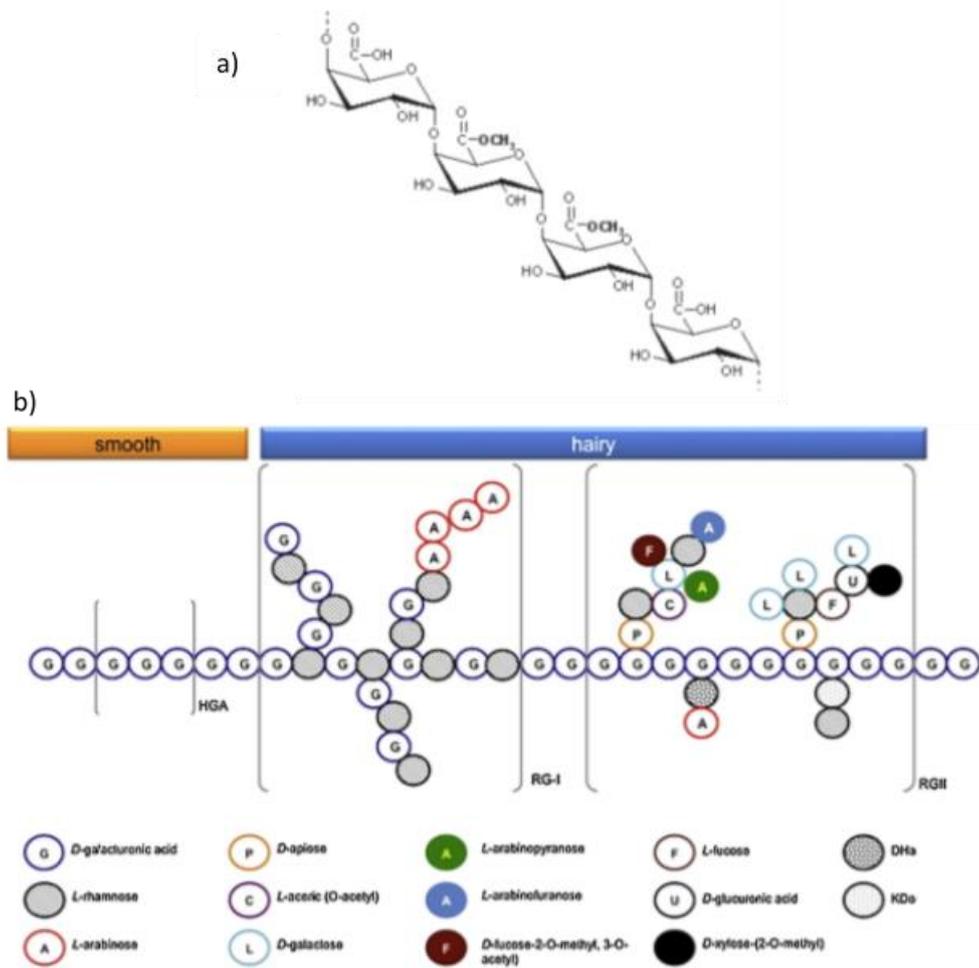


Figura 13: a) Estructura química del esqueleto de la pectina; b) esquema tradicional de la estructura de la pectina incluyendo los 3 dominios: el HG como cadena carbonada principal intercalado con las regiones ramificadas (RG I y RG II).

Fuente: Sriamornsak (2003); Noreen, y otros (2017).

Dentro del dominio HG, los grupos carboxílicos del C6 de los residuos de ácido galacturónico pueden estar naturalmente esterificados con metanol o bien permanecer libres. Dependiendo del grado de esterificación, las pectinas se dividen en: de alto (GE>50%) o bajo metoxilo (GE<50%). Dicho porcentaje depende de la fuente y condiciones de extracción, y determina las propiedades de la pectina incluyendo gelificación, textura y estabilidad; por ende, de este depende su funcionalidad (Osborne, 2004).

Puntualmente, las de bajo metoxilo son las que normalmente se utilizan para la elaboración de RCs por su habilidad para formar geles firmes y con integridad estructural (Valdés, Burgos, Jiménez, & Garrigós, 2015). Al igual que el alginato, requieren de la presencia de cationes divalentes como el calcio para la formación del gel. El mecanismo por el que esto ocurre es el mismo: se produce un entrecruzamiento electrostático entre los iones calcio y los grupos carboxílicos disociados de la pectina, formando una red tridimensional con la estructura de “caja de huevos” (Figura 14b). Esta última se estabiliza mediante interacciones intermoleculares de Van der Waals o puente de hidrógeno entre las cadenas vecinas de HG. Este mecanismo de gelificación no depende estrictamente del pH del medio ni del contenido de sólidos solubles, pero sí de la cantidad de calcio, la cual, preferentemente, debe ser baja para obtener geles elásticos y evitar la sinéresis o precipitación (Ishwarya S., Sandhya, & Nisha, 2021).

Por otro lado, las pectinas de alto metoxilo forman geles en condiciones ácidas (pH entre 2.8 y 3.5) y en presencia de altos contenidos de azúcar (55% – 85%), generalmente glucosa o sacarosa (Figura 14a) (Ferreira Ardila, 2007). Es fundamental mantener controlados estos parámetros porque, de lo contrario, la gelificación no ocurre. Esto se debe a que el pH mantiene los grupos ácidos en su forma no disociada evitando repulsiones electrostáticas entre las cadenas y, a la vez, favorece las interacciones mediante puentes de hidrógeno con otros grupos ácidos o grupos hidroxilo de cadenas adyacentes que estabilizan los agregados de gel. Por su parte, el azúcar tiene un efecto deshidratante que permite el acercamiento entre las cadenas del polímero, promoviendo las interacciones entre los grupos metoxilo en lugar del contacto de estos grupos con el agua. Estos geles generalmente se conocen como “geles ácidos” y suelen utilizarse como excipientes en industria farmacéutica pero también en la alimentaria como componente gelificante en mermeladas y jaleas, pasteles de glaseado, productos lácteos, etc.

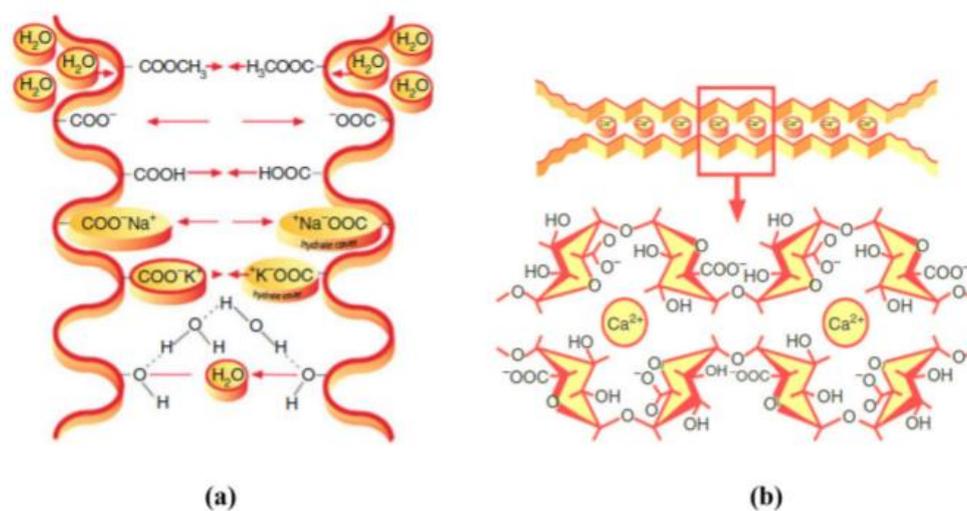


Figura 14: Representación esquemática del mecanismo de gelificación de (a) pectinas de alto y (b) bajo metoxilo.

Fuente: Ishwarya S., Sandhya, & Nisha (2021).

Al igual que todos los RCs a base de hidrocoloides, estos tienen buena adherencia al alimento y baja permeabilidad al O₂, pero no así al vapor de agua y tampoco buenas propiedades mecánicas, exhibiendo rigidez y fragilidad (Ishwarya S., Sandhya, & Nisha, 2021). Sumado a ello, la pectina no exhibe propiedades antimicrobianas, de hecho, en cierta medida promueve el crecimiento microbiano porque los hongos y bacterias la utilizan como fuente de carbono (Del Angel Purata, 2019). Igualmente, estas limitaciones pueden compensarse combinando la pectina con otros biomateriales como, por ejemplo, alginato, quitosano, gel de *Aloe vera*, entre otros, o bien agregando diferentes aditivos como plastificantes, agentes antimicrobianos, etc.

Comparando recubrimientos formulados a partir de pectinas de bajo y alto metoxilo, según Byun, y otros (2019), los primeros tienen mayor rigidez y menor resistencia a la tensión, es decir, menor elongación y mayor fragilidad. Esto se atribuye a la estructura más compacta que se forma durante el mecanismo de gelificación. En contraparte, los resultados obtenidos por Lorevice, Gomide Otoni, De Moura, & Capparelli Mattoso (2016) indican que el porcentaje de esterificación no afecta significativamente la elongación ni la resistencia a la tensión del recubrimiento, pero sí la permeabilidad al vapor de agua. Si bien se espera que el entrecruzamiento con calcio y el rol de este como agente reafirmante para los tejidos del fruto disminuya la permeabilidad, según han demostrado dichos autores, esta es mayor en los RCs formulados a partir de pectinas de bajo metoxilo debido a la presencia de mayor cantidad de grupos hidroxilos libres capaces de interactuar con las moléculas de agua. Además, mientras mayor es el grado de esterificación, menor es la hidrofiliidad del material debido a la naturaleza hidrofóbica de los ésteres con largas cadenas carbonadas que se forman (Mellinas, Ramos, Jiménez, & Garrigós, 2020).

Pese a lo mencionado anteriormente, los RCs suelen elaborarse a partir de pectinas de bajo metoxilo porque, a diferencia de las otras, al combinarlas con otros biomateriales o adicionarles diferentes aditivos, sus propiedades mecánicas mejoran notablemente (Lorevice, Gomide Otoni, De Moura, & Capparelli Mattoso, 2016; Moreira, De Camargo, Marconcini, & Mattoso, 2013). Adquieren mayor resistencia mecánica y flexibilidad debido a la mayor cantidad de grupos carboxílicos que pueden interactuar con las otras moléculas, disminuyendo las fuerzas intermoleculares.

Las pectinas son un importante constituyente de la pared celular de muchas plantas, por lo que son altamente abundantes en la naturaleza. Comercialmente, se obtienen de subproductos industriales como el bagazo de manzanas o la piel de frutos cítricos, entonces de allí su bajo costo y carácter renovable. Sumado a ello, además de ser transparentes y mantener las características sensoriales de los frutos (Galus, Uchański, & Lenart, 2013; Valdés, Burgos, Jiménez, & Garrigós, 2015), tienen múltiples efectos beneficiosos en la salud por sus propiedades anticancerígenas, estimuladoras del sistema inmune, reductoras del colesterol, antinefrosis, antiúlceras, entre otras (Yamada, 1996). Dichas actividades farmacológicas dependen en gran medida de la estructura química de los diferentes dominios, aunque, principalmente, dichos autores las atribuyen a la región ramificada RG I.

5.3.2.1.4 Nanofibras de celulosa

La celulosa es el biopolímero más abundante de la tierra: constituye junto con la lignina la unidad estructural básica de la pared celular de plantas y algas verdes, se encuentra en la madera, fibras de algodón y fibras de lino, y, también, es un producto de biosíntesis de animales y bacterias, por lo que proviene de fuentes renovables. Al mismo tiempo, los residuos agroindustriales como la paja de trigo, el raquis de plátano y la cáscara de cacao son de las principales fuentes de obtención de este biomaterial, lo que hace que también sea de muy bajo costo. Sumado a ello, su carácter biocompatible, biodegradable y no tóxico permite su amplia utilización en diversas industrias, incluyendo la alimentaria.

Estructuralmente, la celulosa es un poliacetal de 4-O-β-D-glucopiranosil-D-glucosa, es decir, un homopolisacárido lineal rígido formado por miles de unidades de 4-D-glucosa unidas mediante enlaces β-1-4-glucosídicos, donde cada unidad de residuo de glucosa se encuentra rotada 180° con respecto a su predecesor (Figura 15). Así, la unidad repetitiva a lo largo de la cadena corresponde a un dímero de la glucosa denominado celobiosa (Herrera Terán, 2018). Estas cadenas lineales se agrupan en microfibras que se componen de regiones amorfas y cristalinas. A su vez, estas microfibras se polimerizan formando fibras mediante fuerzas de Van der Waals e interacciones intra- e intermoleculares por puente de hidrógeno entre sus grupos hidroxilo (Figura 16). Como resultado, las fibras de celulosa adquieren propiedades cristalinas y son extremadamente resistentes a la tracción (Espitia Sibaja, 2010). Además, son prácticamente insolubles en agua y solventes orgánicos tradicionales debido a que las regiones cristalinas dificultan la penetración de los disolventes (Herrera Terán, 2018).

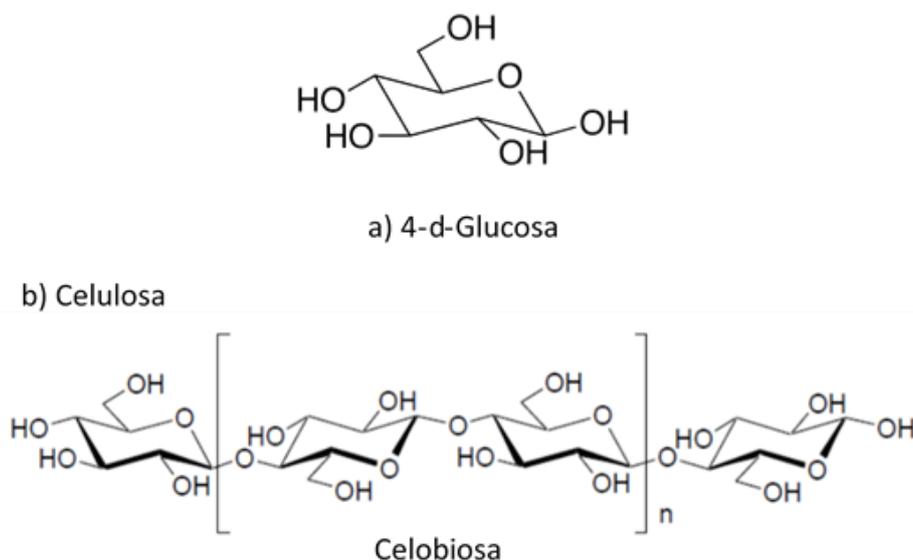


Figura 15: Estructura química de la (a) 4-d-glucosa y (b) la celulosa.

Fuente: Elaboración propia a partir de Unidad Informática del Instituto de Química (2017) y Sanchez Ortiz (2015).

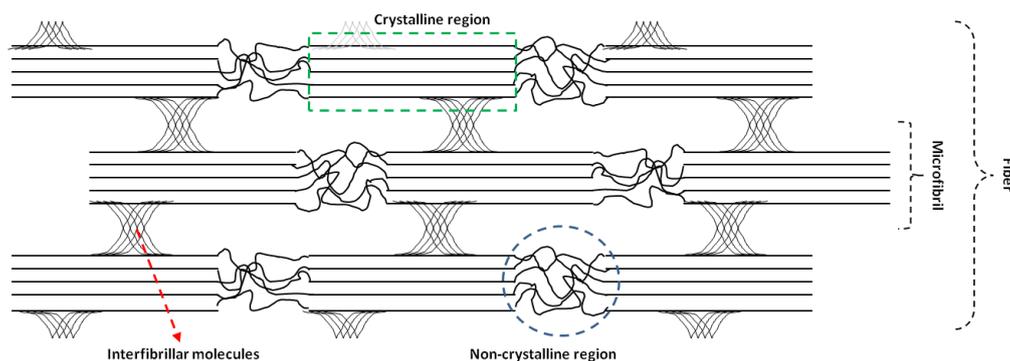


Figura 16: Representación esquemática de una fibra de celulosa donde se muestran las regiones cristalinas y amorfas.

Fuente: Börjesson & Westman (2015).

A partir de las fibras de celulosa se puede obtener nanocelulosa, entendiéndose por esta extractos celulósicos que tienen una dimensión estructural en el intervalo de nanómetros (Islas-Hernández, González-Soto, & Guzmán-Ozuna, 2020). Asimismo, a partir de distintos procesos mecánicos, químicos, enzimáticos o biológicos se pueden distinguir tres formas estructurales de esta última: nanocristales de celulosa (CNCs), nanofibras de celulosa (CNFs), y celulosa bacteriana (BC) (Abitbol, y otros, 2016). En particular, las CNFs, a diferencia de los CNCs que tienen una cristalinidad casi perfecta, están compuestas por fracciones cristalinas y amorfas, y tienen una mayor relación de aspecto que estas.

Cada una de las formas estructurales tiene diferente dimensión y método de obtención, por ende, distintas áreas de aplicación. Por ejemplo, el enredo de partículas largas como las CNFs da lugar a suspensiones acuosas muy viscosas a concentraciones relativamente bajas (por debajo del 1% en peso), cuya transparencia varía en función del grado de separación de las fibras, que tienen la capacidad de formar películas con interesantes propiedades mecánicas, como un elevado módulo de Young (Abitbol, y otros, 2016; Wells Carpenter, François de Lannoy, & Wiesner, 2015).

El uso de nanocelulosa ha cobrado gran interés en los últimos años por su elevada superficie específica y relación de aspecto, baja densidad, atractivas propiedades mecánicas, nulas propiedades citotóxicas y genotóxicas, y su capacidad de absorber agua formando hidrogeles (Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Gómez-Hoyos, Zuluaga-Gallego, & López-Córdoba, 2020; Pirozzi, Ferrari, & Donsì, 2021; Ehman, 2019). Detalladamente, se trata de un material resistente y rígido, y a la vez ligero, por lo que es muy útil para reforzar matrices poliméricas. Por ejemplo, la incorporación de CNFs disminuyó la permeabilidad al vapor de agua y mejoró las propiedades mecánicas de recubrimientos de almidón, otorgándoles mayor resistencia a la tracción y disminuyendo su capacidad de deformación (Müller, Laurindo, & Yamashita, 2009). Asimismo, la presencia de estas en recubrimientos de quitosano contribuyó a mantener la firmeza del kiwi

(Ghosh, Nakano, & Katiyar, 2021). No obstante, para lograr dichas mejoras es fundamental alcanzar la concentración óptima de nanocelulosa para evitar su agregación en la solución formadora del recubrimiento (Pirozzi, Ferrari, & Donsi, 2021).

5.3.2.1.5 Hidroxipropilmetilcelulosa

La hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) es el éter 2-hidroxipropilmetílico de la celulosa, es decir, es un derivado sintético no iónico de la celulosa que presenta en su cadena grupos metilo e hidroxipropilos (Figura 17). Se trata de un coloide soluble en agua con alta compatibilidad con otros polisacáridos hidrofílicos, sales metálicas y compuestos orgánicos iónicos, que se obtiene por alquilación de la celulosa con una mezcla de cloruro de metileno y óxido de propileno. Las proporciones de los grupos metoxilo (16.5 - 30%) y grupos hidroxipropoxilo (4 - 32%), los tipos de sustitución de los grupos funcionales y la longitud de la cadena son factores que determinan las características propias de los diferentes tipos de HPMC, como la permeabilidad, las propiedades mecánicas y la solubilidad en agua (Andueza, Ávila, & Attias, 2000; Osorio, Molina, Matiacevich, Enrione, & Skurtys, 2011). Esto se explica a partir de que los grupos metilos constituyen zonas hidrofóbicas a lo largo de la cadena de celulosa, mientras que los grupos hidroxipropilos son más hidrofílicos.

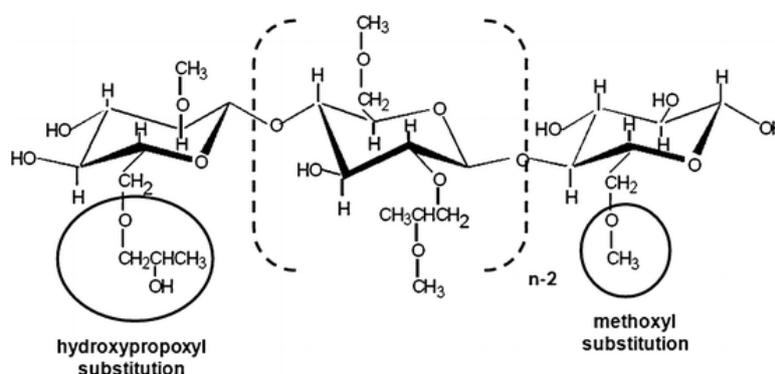


Figura 17: Estructura química de la hidroxipropilmetilcelulosa.

Fuente: Ford (2014).

La HPMC es uno de los derivados más comúnmente usados en la industria alimentaria por su amplia variedad de atributos. Tiene aplicación como surfactante, estabilizante contra la coalescencia de gotas en emulsiones, espesante, ligante de agua reduciendo la sinéresis en alimentos fluidos, y como agente formador de películas interfaciales y geles termorreversibles. Específicamente, esta última propiedad, que es la que le otorga la capacidad de constituir RCs, se debe a las interacciones polímero-polímero entre los grupos hidrofóbicos que tienen lugar cuando las moléculas pierden su hidratación producto del aumento de temperatura (Solís Rivera, 2016).

En particular, su utilización para la formulación de RCs ha sido ampliamente estudiada por tratarse de un material biodegradable, soluble en agua, con buenas propiedades mecánicas y de barrera a los gases, y un alto brillo (Pastor Navarro, 2010). Sumado a ello, los recubrimientos que forma son transparentes, flexibles, inodoros, insípidos y resistentes a aceites y grasas. No obstante, al igual que todos los hidrocoloides, su alta permeabilidad al vapor de agua hace necesaria la incorporación de compuestos de naturaleza hidrofóbica como ácidos grasos, ceras, resinas y/o tensioactivos en la matriz del hidrocoloide para mejorar esta propiedad.

5.3.2.1.6 Carragenina

La carragenina es un polisacárido sulfatado, soluble en agua, que se extrae de diferentes familias de algas marinas rojas (Rhodophyceae): Gigartinales, Hypneales, Salicorniales, Phyllophorales y Furcellariales. Estas algas pueden encontrarse en el Mar del Norte, el Sur Argentino, el sur de Chile, Filipinas y Madagascar. Estructuralmente, está constituida por unidades alternas de D-galactosa y 3,6-anhidro-galactosa (3,6-AG) unidas por enlaces α -1,3 y β -1,4-glicosídicos, con un contenido de ésteres y sulfatos del 15 al 40% (Necas & Bartosikova, 2013). Dependiendo del grado de sulfatación, la posición de los grupos sulfato de éster y el contenido de 3,6-AG, se pueden diferenciar tres principales tipos de carrageninas: lambda (λ), kappa (κ) y iota (ι).

Puntualmente, la carragenina κ es un importante agente gelificante en la industria alimentaria, así como en la industria farmacéutica y el sector de biotecnología. Tiene una estructura primaria basada en la repetición de disacáridos de α -(1-3)-D-galactosa y β -(1-4)-3,6-anhidro-D-galactosa, y contiene un grupo sulfato por unidad de disacárido en el carbono 4 (Figura 18). Es soluble en agua a temperaturas de 60 – 70°C, y se caracteriza por formar geles termorreversibles en presencia de agua a temperaturas de 40 – 50°C. Estos son mecánicamente estables y fuertes pero rígidos, quebradizos y con sinéresis.

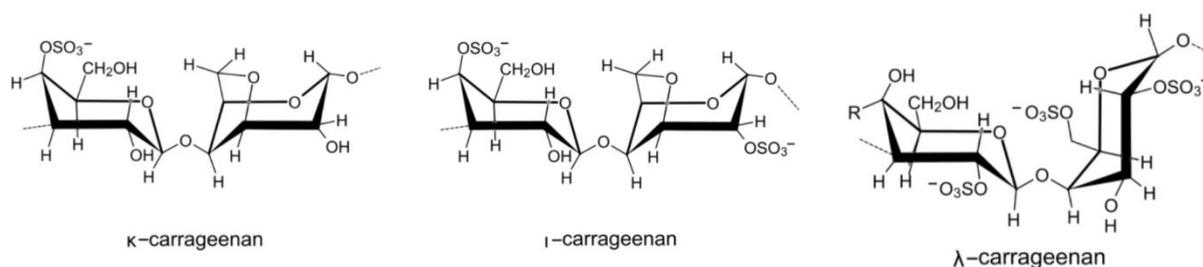


Figura 18: Estructura química de las carrageninas tipo kappa (κ), iota (ι) y lambda (λ).

Fuente: Adaptada de Necas & Bartosikova (2013).

Por su parte, la carragenina ι posee dos sulfatos por cada dos unidades de azúcares (Figura 18). También se caracteriza por formar geles termorreversibles, pero, en este caso, a

temperaturas de 50 – 55°C. Estos son elásticos y sin sinéresis, pero blandos y menos resistentes que los obtenidos a partir de carragenina κ . Esta diferencia se explica a partir de que los niveles más altos de éster sulfato significan una temperatura de solubilidad más baja y una menor resistencia del gel (Necas & Bartosikova, 2013). Siguiendo esta línea, la carragenina λ , que posee tres sulfatos por cada dos unidades de azúcares (Figura 18), es soluble en agua fría y no gelifica, pero funciona como agente espesante (Infante Rivera, Campos Tapia, Guerrero Salazar, & Sepúlveda Guzmán, 2012).

El proceso de gelificación de las carrageninas ι y κ , al igual que el del alginato, se produce en presencia de cationes mono o divalentes, obteniéndose como resultado recubrimientos transparentes, incoloros y de sabor ligeramente salado (Parzanese, s.f.; Dhall, 2013). Detalladamente, dicho proceso consiste en la formación de dobles hélices de polisacáridos las cuales, con el descenso de temperatura y en presencia de sales, se agregan dando lugar a una red tridimensional que, tras la evaporación del disolvente, constituye el recubrimiento sólido (Figura 19) (Infante Rivera, Campos Tapia, Guerrero Salazar, & Sepúlveda Guzmán, 2012).

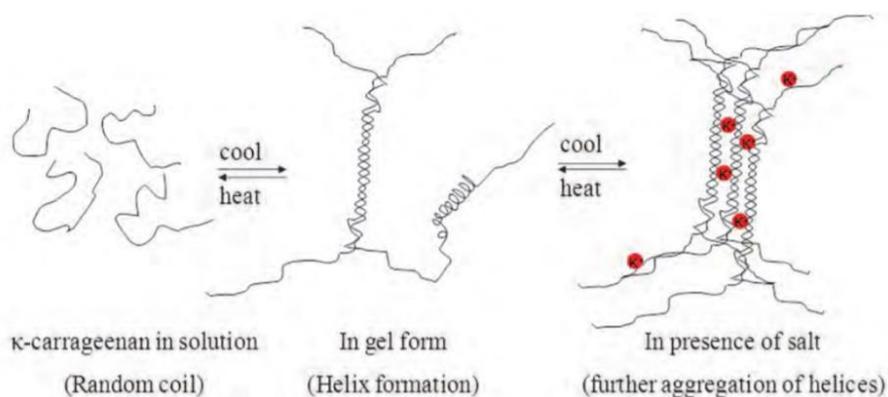


Figura 19: Representación esquemática de la formación del gel.

Fuente: Gulrez, Al-Assaf, & Phillips (2011).

Las carrageninas, identificadas como INS 407, son aditivos considerados inocuos por la FDA. Se emplean ampliamente en la industria alimentaria como estabilizantes, espesantes y agentes gelificantes en medios acuosos o en lácteos. Sumado a ello, presentan diversas actividades biológicas, entre ellas, inmunomoduladoras, anticoagulantes, antitrombóticas, antivirales y antitumorales (Necas & Bartosikova, 2013).

5.3.2.1.7 Pululano

El pululano es un polisacárido microbiano producido extracelularmente por el hongo *Aureobasidium pullulans*. No es tóxico, mutagénico ni carcinogénico, sino todo lo contrario: está aprobado por la FDA para aplicaciones en alimentos y categorizado como sustancia GRAS (GRN

No. 99 - Pullulan, 2002). Estructuralmente, es un glucano lineal constituido por unidades de maltotriosa unidas entre sí por enlaces α -1,6-glicosídicos (Figura 20). Esta última consiste en un trisacárido formado por tres moléculas de glucosa encadenadas linealmente mediante enlaces α -1,4-glicosídicos. El pululano, debido a su alto peso molecular (50.000 - 500.000 Daltons) y la configuración de sus enlaces, no es digerible por las enzimas digestivas humanas, por lo que actúa como una fibra dietaria soluble (Hayashibara International Inc., 2002).

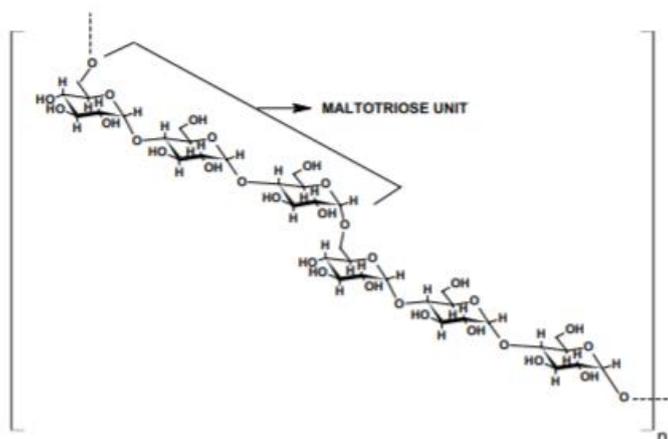


Figura 20: Estructura química del pululano con maltotriosa como unidad repetitiva.

Fuente: Singh, Saini, & Kennedy (2008)

Posee propiedades distintivas que le permiten tener una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y biomédica. Se trata de un polisacárido bajo en calorías, no iónico ni higroscópico y con buena solubilidad en agua (Singh, Kaur, & Kennedy, 2019). Es capaz de formar recubrimientos incoloros, insípidos, transparentes, termosellables y altamente impermeables tanto al aceite como al oxígeno (Yuen, 1974). Sumado a ello, no solo tiene excelentes propiedades adhesivas al alimento, lo cual es altamente influyente en la efectividad del RC, sino que también su permeabilidad al vapor de agua, si bien no es baja por su naturaleza hidrofílica, es menor que la de otros polisacáridos como el quitosano y la HPMC (Wu, Zhong, Li, Shoemaker, & Xia, 2012; Yan, Li, Zhang, & Qiao, 2012). Esto se atribuye a que, como la estructura del pululano no tiene ramificaciones, las cadenas moleculares pueden ordenarse de forma compacta entre ellas dificultando el paso de las moléculas de agua.

No obstante, su aplicación en forma purificada se ve limitada por su elevado costo, su naturaleza hidrofílica y sus propiedades mecánicas deficientes, aunque estas últimas pueden contrarrestarse con el agregado de plastificantes que disminuyen la temperatura de transición vítrea (Tong, Xiao, & Lim, 2008; Vuddanda, Montenegro-Nicolini, Morales, & Velaga, 2017; Tabasum, y otros, 2018; Diab, Biliaderis, Gerasopoulos, & Sfakiotakis, 2001). Específicamente, en ausencia de estos, los recubrimientos presentan baja elasticidad por lo que suelen ser frágiles,

quebradizos y con poca extensibilidad (Vuddanda, Montenegro-Nicolini, Morales, & Velaga, 2017). Además, a diferencia de otros materiales, el pululano no tiene ninguna actividad biológica como, por ejemplo, actividad antimicrobiana (Tabasum, y otros, 2018). Igualmente, en relación con esta última, esta sustancia es una fuente de carbono que no puede ser asimilada por las bacterias y los hongos responsables del deterioro de los alimentos (*L. monocytogenes*, *E. coli*, *A. niger*, *F. solani*, etc.) por lo que, indirectamente, tiene un efecto inhibitorio en el crecimiento de estos microorganismos (Pobiega, Igielska, Wlodarczyk, & Gniewosz, 2020; Singh, Saini, & Kennedy, 2008).

Una estrategia para reducir su costo e incluso mejorar las propiedades mecánicas es combinarlo con otros materiales como el quitosano o bien agregarle aditivos como aceites esenciales, extractos vegetales, nanopartículas, entre otros. De esta forma, a su vez, el recubrimiento adquiere actividades biológicas como la antimicrobiana por las propiedades intrínsecas del quitosano o del aditivo agregado. Por otro lado, otra opción prometedora es utilizar residuos industriales como sustrato para la obtención de pululano (Singh, Kaur, & Kennedy, 2019). Según dichos autores, los nutrientes utilizados para la producción fermentativa del pululano (fuentes de carbono y nitrógeno, y otros nutrientes esenciales) son caros, lo que aumenta significativamente su coste de producción; pero, al mismo tiempo, los residuos agroindustriales como el orujo de uva, la cascarilla de arroz, las aguas residuales del procesamiento de papa y coco, entre otros, son ricos en estos nutrientes. Por ello, la utilización de estos residuos como sustrato para el crecimiento de *A. pullulans* posibilita la aplicación del pululano a nivel industrial, además de reducir los problemas ambientales generados por la disposición directa de la enorme cantidad de estos residuos.

5.3.2.1.8 Gel de *Aloe* spp.

El género *Aloe* pertenece a la familia botánica Liliaceae y comprende alrededor de 350 especies. Especialmente, la especie *Aloe barbadensis* Miller o *Aloe vera* L. es popular por sus propiedades medicinales y terapéuticas; pero, en el último tiempo, ha cobrado gran interés como alternativa para mantener la calidad y reducir los síntomas de pudrición postcosecha de frutas y verduras por sus propiedades antimicrobianas. A partir de sus características hojas verdes, alargadas y de consistencia carnosa se pueden obtener dos productos de interés diferentes desde el punto de vista químico, farmacológico y terapéutico: el acíbar y el gel de *Áloe vera*. Específicamente, el primero es un exudado que se obtiene a partir de incisiones en las células pericíclicas de las hojas frescas, mientras que el gel es obtenido de las células parenquimatosas de estas.

El gel de *Aloe* es un gel mucilaginoso compuesto por aproximadamente 99.5% de agua y 0.5% de material sólido que incluye polisacáridos, ácidos orgánicos, enzimas, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Hamman, 2008). Puntualmente, las fibras (polisacáridos no

amiláceos y lignina) representan un 35.47% del peso seco del gel, seguidas por los azúcares solubles con un 27.81%, entre los que predominan la manosa y la glucosa (Femenia, Sánchez, Simal, & Rosselló, 1999). Los residuos de manosa provienen principalmente del acemanano (Figura 21). Este último es un polisacárido de almacenamiento, comercialmente conocido como Carrasyn™, que se identifica como el principal polisacárido presente en el gel además de la celulosa, hemicelulosa y otros glucomananos de diversas composiciones, algunos acetilados y otros no (Benítez, Achaerandio, Pujolà, & Sepulcre, 2015). De hecho, muchos investigadores han consensuado que las moléculas de glucomanano acetilado son las principales responsables de las propiedades espesas del gel de *Aloe* por su excepcional capacidad de captar agua formando soluciones muy viscosas (Hamman, 2008).

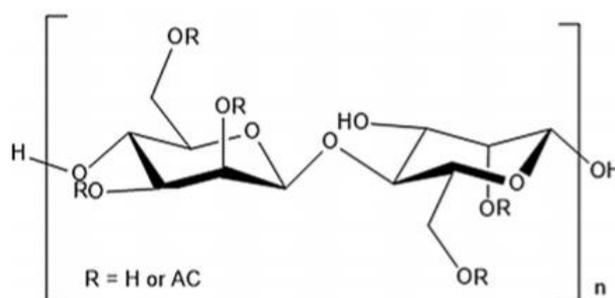


Figura 21: Estructura química del acemanano.

Fuente: Nicolau-Lapeña, y otros (2020).

Este gel tiene potencial como RC porque, aparte de ser ecológico, es incoloro, insípido y tiene propiedades antimicrobianas: todas cualidades altamente deseables en formulaciones para dicho fin (Kumar, Sharma, & Tadapaneni, 2015). Específicamente, proporciona una barrera defensiva contra la contaminación tanto fúngica como bacteriana. Por ejemplo, Saks & Barkai-Golan (1995) demostraron la acción inhibitoria del gel sobre la germinación de esporas y el crecimiento micelial de cuatro hongos comunes de postcosecha: *Penicillium digitatum*, *Penicillium expansum*, *B. cinérea* y *Alternaria alternata*. Asimismo, Salah, y otros (2017) exhibieron el efecto positivo del gel en la reducción del crecimiento de bacterias Gram positivas (*Staphylococcus aureus* y *Enterococcus faecalis*) y Gram negativas (*E. coli* y *Pseudomonas aeruginosa*), siendo más sensibles las primeras. Esta actividad antibacteriana puede atribuirse a algunos componentes individuales del gel como saponinas, el acemanano y los derivados de las antraquinonas, que son conocidos por su actividad antibiótica (Martínez-Romero, y otros, 2006).

Sumado a ello, el gel de *Aloe* tiene la ventaja adicional de proporcionar compuestos bioactivos con propiedades beneficiosas específicas para la salud y nutrición humana. Además de aportar aminoácidos esenciales y no esenciales, es una excelente fuente natural de micronutrientes esenciales como minerales, principalmente sodio y potasio (Femenia, Sánchez, Simal, &

Rosselló, 1999), y vitaminas A, B1, B2, B6, C, β -caroteno, colina, ácido fólico y α -tocoferol (Nicolau-Lapeña, y otros, 2020). Puntualmente, la vitamina C y el α -tocoferol, junto con otros compuestos fenólicos y el acemanano por sus grupos acetilo e hidroxilo, son capaces de neutralizar los radicales libres que causan las reacciones de oxidación (Domínguez-Fernández, y otros, 2012; Nicolau-Lapeña, y otros, 2020). De esta forma, el gel ejerce un efecto farmacológico contra el envejecimiento, la carcinogénesis y las enfermedades cardiovasculares, entre otras. Al mismo tiempo, este tiene la capacidad de mejorar la absorción intestinal y proporcionar propiedades antiinflamatorias, cicatrizantes, gastro-protectoras e inmunomoduladoras, atribuibles a los polisacáridos presentes (Hamman, 2008).

Los RCs a base únicamente de gel de *Aloe* son de fácil preparación, pero presentan ciertas desventajas: además de la alta permeabilidad al vapor de agua por la naturaleza hidrofílica del gel, son inestables. Por un lado, la solubilidad del gel en agua hace que sean susceptibles de degradación; y, a la vez, también se diluyen fácilmente por la acción de enzimas activas que actúan sobre los polisacáridos responsables de la viscosidad del gel. Por otro lado, en contacto directo con el aire y la luz, el gel se oxida rápidamente, cambia a un color amarillento y adquiere un sabor desagradable, dando como resultado una importante disminución de sus propiedades biológicas (Suriati, Mangku, & Rudianta, 2018; Navarro Martínez, 2013).

Pese a lo mencionado anteriormente, según el trabajo realizado por Suriati, Utama, Harjosuwono, & Gunam (2020), el gel de *Aloe* se puede conservar hasta el octavo día y aún lucir fresco cuando es almacenado a 7°C, habiendo sido previamente calentado a 70°C por 10 minutos. Este calentamiento evapora un poco de agua, confiriéndole mayor viscosidad a la solución del gel, y reduce la PPO que es la enzima responsable del pardeamiento enzimático (Suriati, Mangku, & Rudianta, 2018).

Al mismo tiempo, RCs formulados exclusivamente con gel de *Aloe* han logrado resultados similares a los obtenidos con otros biomateriales. Por ejemplo, en cerezas y uvas de mesa redujeron la tasa de respiración y la pérdida de humedad de los frutos, manteniendo la firmeza de estos (Martínez-Romero, y otros, 2006; Valverde, y otros, 2005). Esto último, dichos autores lo atribuyen a las propiedades higroscópicas del gel, principalmente del glucomanano, que permiten la formación de una barrera a la difusión de agua entre la fruta y el entorno circundante, evitando así su transferencia externa. A su vez, tampoco puede descartarse un posible efecto del gel de *Aloe* en la reducción de las enzimas degradadoras de la pared celular que también son responsables del ablandamiento de los frutos. Estos RCs también disminuyeron significativamente las poblaciones microbianas, el aumento de SST y los cambios de color de la piel, además de retener la acidez titulable, otorgar un atractivo brillo de aspecto natural y mantener las características sensoriales de las cerezas y uvas durante 16 y 35 días, respectivamente, en condiciones de almacenamiento refrigerado a 1°C.

5.3.2.2 LÍPIDOS

En cuanto a los lípidos, por su condición hidrofóbica, su utilización como materia prima para la formulación de RCs imparte buenas propiedades de barrera contra el vapor de agua. Por este motivo, son excelentes para reducir la pérdida de peso y mantener la firmeza de los sustratos. Sin embargo, dicha hidrofobicidad imparte grosor en los RCs, lo cual repercute negativamente en las propiedades mecánicas de estos (Al-Tayyar, Youssef, & Al-Hindi, 2020). En relación con estas últimas, la naturaleza no polimérica de los lípidos limita su capacidad para formar recubrimientos cohesivos (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013), dando lugar a matrices sin integridad estructural, quebradizas y con baja resistencia al estiramiento, debiéndose contrarrestar con la adición de aditivos o bien con la combinación con otro biomaterial. Los lípidos, en particular las ceras, suelen utilizarse en combinación con algún hidrocoloide como la HPMC, formando una capa doble conocida como recubrimiento bicapa.

Además de sus propiedades mecánicas deficientes, los RCs lipídicos presentan pobre adherencia al alimento, exponen una superficie grasienta y son susceptibles de rancidez, resultando en RCs opacos y de sabor ceroso. Pese a todas estas desventajas, tienen la capacidad de reducir la abrasión por la manipulación y mejorar el brillo de los alimentos otorgándoles una apariencia más atractiva (Fernández Valdés, y otros, 2015).

5.3.2.2.1 Cera de abeja

La cera de abeja es producida en grandes cantidades por las abejas (*Apis mellifera*) durante su etapa de crecimiento (entre sus 12 y 30 días de edad) y en condiciones climáticas templadas. Su principal finalidad es como material de construcción para las colmenas, aunque, desde hace ya tiempo, ha sido ampliamente utilizada en el ámbito comercial como aditivo de calidad en la fabricación de cosméticos y en industria farmacéutica y alimentaria debido a su alta hidrofobicidad y excelente resistencia a la humedad. Esto ha sido posible porque, de acuerdo con la Evaluación del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) de 1992, su uso no supone preocupación toxicológica (Comisión del Codex Alimentarius, 2002).

Esta sustancia natural consiste en una mezcla compleja de más de 300 compuestos individuales, incluyendo monoésteres (35%), diésteres (14%), triésteres (3%), hidratos de carbono (14%), ácidos grasos libres (12%), hidroximonoésteres (4%), hidroxipoliésteres (8%), monoésteres de ácidos grasos (1%), poliésteres de ácidos grasos (2%), alcoholes grasos libres (1%) y sustancias exógenas (6%) (Tulloch, 1980). También, se han detectado en menores cantidades terpenoides, flavonoides y compuestos volátiles, responsables del olor de la cera. Cabe resaltar que la proporción cuantitativa de cada uno de sus componentes depende de la subespecie de abeja, la edad de la cera y las circunstancias climáticas de su producción, no así la identidad química de estos. En cuanto a algunos de los principales grupos de componentes, la Organización Mundial de la Salud (2006) postula algunas características:

- Los monoésteres lineales e hidroximonoésteres generalmente tienen cadenas laterales de C40 - C48 y derivan casi exclusivamente del ácido palmítico, ácido 15-hidroxipalmítico y ácido oleico.
- Los hidrocarburos son de cadena lineal impar con una longitud de cadena predominante de C27 - C33.
- La mayoría de los ácidos grasos libres (~85%) están saturados y tienen una cadena carbonada con una longitud de C24 - C32.
- La cadena carbonada de los alcoholes grasos libres tiene una longitud de C28 - C35.
- Las sustancias exógenas son principalmente residuos de propilo, pollen, pequeñas cantidades de compuestos florales y contaminación.

Se comercializan dos formas de cera de abeja: amarilla y blanca. La primera es la que se obtiene a partir de la fundición del opérculo después de remover la miel, con posterior eliminación de impurezas, y tiene el característico olor a miel; y la segunda, se obtiene por blanqueamiento de la primera, por ejemplo, con peróxido de hidrógeno, ácido sulfúrico o luz solar (Organización Mundial de la Salud, 2006). Naturalmente, cuando es secretada por la abeja, la cera es casi blanca y translúcida, pero a medida que entra en contacto con el polen y el propolio se va tornando amarilla y, con los años, marrón. De allí que el color de la cera también sirve para determinar su pureza y, por ende, su valor: ceras de color oscuro implican posible contaminación y/o sobrecalentamiento, por lo que las ceras claras tienen mayor valor (La cera de abejas - Un producto útil y valioso, 2005). Los contaminantes que pueden encontrarse comúnmente son sustancias lipofílicas utilizadas en apicultura, principalmente acaricidas y pesticidas como el 1,4-diclorobenceno, aunque también pueden hallarse contaminantes ambientales (Bogdanov, 2004). Todos estos constituyen un riesgo relevante para la calidad de los productos apícolas y para la salud humana.

Para la elaboración de RCs se utiliza la cera amarilla (INS 901) que es la que no pasa por un tratamiento químico de decoloración, lo cual condice con el enfoque natural y saludable que se busca al implementar esta tecnología postcosecha. Como todos los lípidos, la cera de abeja les confiere brillo a los frutos y, sumado a ello, su ingesta otorga diversos beneficios para la salud. Entre estos destacan sus propiedades antiinflamatorias (Carbajal, y otros, 1998), reductoras de colesterol LDL (Hargrove, Greenspan, & Hartle, 2004), hepatoprotectoras (Mendoza, Noa, Pérez, & Mas, 2007) y gastroprotectoras (Carbajal, y otros, 2000), todas atribuibles al D-002. Este último es una mezcla de alcoholes alifáticos primarios superiores que se extraen de la cera de abeja, y cuyo componente más abundante es el triacontanol.

Otra de las características de esta sustancia lipídica son sus conocidas propiedades antimicrobianas contra bacterias tanto Gram positivas, principalmente *S. aureus*, *S. epidermidis* y *S. pyogenes*, como Gram negativas, en particular *B. subtilis*, *P. aeruginosa* y *E. coli* (Ghanem, 2011). Además, dichos autores, hallaron un importante efecto inhibitorio contra *C. albicans*. La acción inhibitoria contra estos microorganismos, a su vez, mejora cuando la cera se combina con

otros aditivos, como la miel o el aceite de oliva, porque se produce un efecto sinérgico (Fratini, Cilia, Turchi, & Felicioli, 2016).

Pese a todas estas bondades de la cera de abeja, su olor, sabor característico y color afectan negativamente las propiedades organolépticas del fruto, además de su textura pegajosa que hace que se pegue a los dientes. A su vez, su naturaleza hidrofóbica le confiere a los RCs que conforma cierta dualidad en sus propiedades. Por un lado, favorece la conservación del peso del fruto porque la permeabilidad al vapor de agua de estos recubrimientos es muy baja; pero, al mismo tiempo, por esa hidrofobicidad los recubrimientos son quebradizos. Por esto último, la cera de abeja debe emplearse en combinación con algún hidrocoloide.

5.3.2.2.2 Cera de carnauba

La cera de carnauba es un exudado vegetal que se extrae de las hojas de la palma *Copernicia cerifera*. Esta palmera crece en condiciones de explotación económica solo en las regiones secas de Ceará, al noreste de Brasil, aunque también puede encontrarse en menores cantidades en el sur de Brasil y en el norte de Paraguay y Argentina. Sus hojas exudan la cera durante los meses más secos del año para prevenir la excesiva evaporación del agua que contiene la planta.

Está compuesta en un 80% por ésteres de ácidos carboxílicos, específicamente ésteres alifáticos con una longitud de cadena de 24 a 28 átomos de carbono y diésteres del ácido cinámico, y en un 10% por alcoholes primarios de 32 a 34 átomos de carbono (Silva de Freitas, y otros, 2019; Osorio, Molina, Matiacevich, Enrione, & Skurtys, 2011). El porcentaje restante se distribuye entre otros componentes que se listan en la Tabla 3.

Tabla 3: Composición de la cera de carnauba.

COMPONENTES	% PESO
Hidrocarburos	0.3 - 1
Ésteres	75 - 85
Alcoholes	10 - 12
Ácidos grasos libres	5 - 7
Humedad	0.5 - 1
Residuos inorgánicos	1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de Silva de Freitas, y otros (2019) y Morales Reyes (2011).

Se trata de una sustancia GRAS que es comúnmente añadida a las formulaciones de RCs por sus excelentes propiedades de barrera contra el vapor de agua. Sumado a ello, además de aportar brillo, combina dureza con resistencia al desgaste y es compatible con muchos otros tipos

de cera (Morales Reyes, 2011). Es más, en comparación con otras ceras, la cera de carnauba es significativamente menos viscosa, más elástica y resistente a las deformaciones.

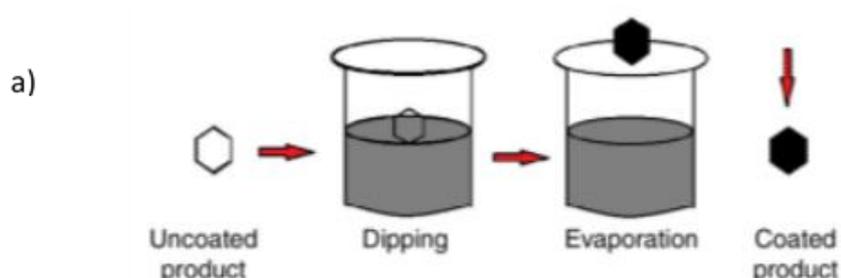
5.3.2.3 MEZCLAS

Las diferentes propiedades de cada uno de los componentes dificultan la posibilidad de formular un RC homogéneo con buenas propiedades mecánicas y de barrera a la vez. Por esta razón, con el propósito de obtener un producto final con mejores cualidades mecánicas y de permeabilidad, se desarrollan recubrimientos mixtos que combinan diferentes biopolímeros. De esta forma, se aprovechan las propiedades funcionales de cada uno de ellos y se minimizan sus desventajas, puesto que las propiedades en cuestión dependen de los componentes que integran la matriz.

Como regla general, los hidrocoloides aportan permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂, integridad estructural y buenas propiedades mecánicas, y los lípidos, resistencia a la difusión del vapor de agua. A su vez, la incorporación de estos últimos debilita la red polimérica dando lugar a matrices más flexibles y elásticas (Pastor Navarro, 2010).

5.3.3 MÉTODOS DE APLICACIÓN

A la hora de aplicar un RC sobre cualquier alimento es fundamental que este pueda distribuirse homogéneamente y formar una capa continua sobre la superficie del sustrato. Existen diferentes técnicas de aplicación de las soluciones formuladoras, pero las principales utilizadas en frutas y vegetales frescos son: inmersión, pulverización y cepillado (Figura 22). Estas tres utilizan disolventes para la dispersión de los materiales que forman la película, y, también, coinciden en que las formulaciones se añaden y secan directamente sobre la superficie del alimento (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021). Dicho secado es necesario para evaporar el disolvente y formar la estructura del recubrimiento y, además, porque mediante estas formas de aplicación, el producto está expuesto a una gran cantidad de humedad durante el proceso (Han, 2014; McHugh & Senesi, 2000).



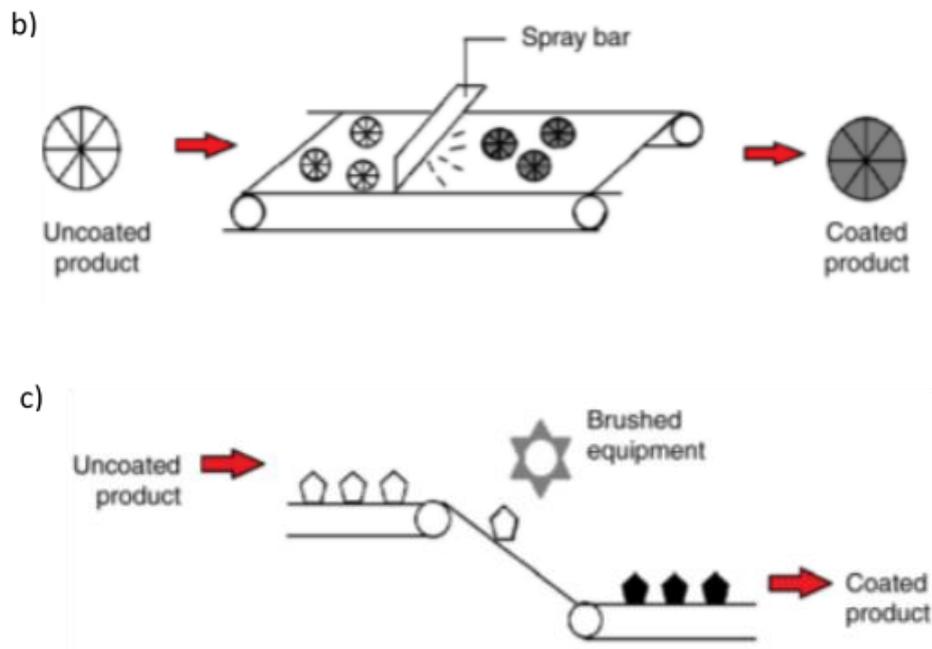


Figura 22: Representación esquemática de los métodos de aplicación de RCs sobre alimentos: (a) inmersión, (b) pulverización y (c) cepillado.

Fuente: Menezes & Athmaselvi (2018).

Para estas técnicas húmedas, la elección del disolvente es uno de los factores más importantes. Debe considerarse: (1) su aptitud para el consumo humano, (2) su compatibilidad con los otros ingredientes para evitar la separación de fases, sobre todo en aquellos recubrimientos que llevan aditivos activos, y (3) su tensión superficial ya que mientras más baja sea esta y más alta la viscosidad, más probable es que el RC se adhiera sobre la superficie del alimento sin despegarse (Han, 2014). Frente a la necesidad de evitar que ocurran comportamientos indeseables como algunos de los mencionados, pueden añadirse a las soluciones formuladoras varios emulsionantes y surfactantes. Igualmente, de acuerdo con dicho autor, durante el proceso de secado, la solución formuladora se concentra y su energía superficial disminuye debido a la pérdida del disolvente. De esta forma, al disminuir la diferencia de energía superficial entre la solución formuladora y la superficie del producto, no se ve favorecido el despegue del recubrimiento de la superficie.

Independientemente de cuál sea la técnica a emplear, algunos de los aspectos fundamentales que deben tenerse en cuenta al momento de la aplicación del recubrimiento son el rápido secado y que no produzcan espuma. Posterior a la aplicación, no deben coagularse, agrietarse o caerse durante la manipulación (Fernández, Echeverría, Mosquera, & Paz, 2017).

Empezando por la inmersión, esta es de todas las técnicas la más común, sencilla y económica. Consta de tres etapas: inmersión, drenado y secado. En primer lugar, el alimento, previamente lavado y secado para asegurar que el recubrimiento se adhiera, se sumerge dentro

de tanques que contienen la solución formuladora a una velocidad constante y durante un tiempo determinado, entre 5 y 30 segundos. Una vez retirado del tanque, el producto se deja drenar para eliminar el exceso de solución y, posteriormente, se seca a temperatura ambiente o con la ayuda de un secador para evaporar el solvente.

Es el método más apropiado cuando la superficie a recubrir es irregular como en la mayoría de las frutas y hortalizas (Morales Reyes, 2011). Sin embargo, no siempre puede emplearse porque depende de la viscosidad de la solución, la cual debe ser altamente viscosa, y la extensibilidad de esta sobre la superficie del alimento ya que, de lo contrario, puede ser que la solución no se impregne sobre la superficie del sustrato, limitando la formación del recubrimiento (Del Valle Soazo, 2012). Sumado a ello, si bien permite cubrir la totalidad de la superficie de forma uniforme, es más propenso a dar recubrimientos más gruesos que ocasionen dificultades con la respiración del fruto (Embuscado & Huber, 2009; Dhanapal, y otros, 2012). Otras de las desventajas de la implementación de esta técnica son, por un lado, la alta susceptibilidad del tanque de inmersión de acumular residuos y/o suciedad y desarrollar microbios; y, por otro lado, la facultad de diluir la capa externa natural de algunas frutas y hortalizas, como la capa cerosa de los arándanos, si, por ejemplo, se emplea agua con detergentes, perdiendo así su funcionalidad (Lin & Zhao, 2007).

Por su parte, la pulverización es la técnica más utilizada cuando las soluciones formuladoras no son tan viscosas y la superficie de los sustratos es más bien lisa y uniforme. También se utiliza para aplicar un segundo recubrimiento con una solución catiónica en los recubrimientos de alginato, pectina y carragenina κ para promover el entrecruzamiento con calcio. Su principal ventaja es crear recubrimientos más delgados y uniformes que la inmersión.

En este caso, la solución formuladora se administra presurizada para conseguir diferentes tamaños de gota y haciendo uso de aspersores de alta presión que permiten emplear menos material de recubrimiento (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013). La eficacia de este método depende en gran medida del control de tamaño de gota y la presión de atomización (Dhanapal, y otros, 2012; Andrade, Skurtys, & Osorio, 2012). Respecto a esta última, es importante mantener el valor de la presión inferior a 3.5 bares para evitar la destrucción del sistema de formación del recubrimiento (Suhag, Kumar, Trajkovska Petkoska, & Upadhyay, 2020). Por su parte, el tamaño de gota está influenciado por la humedad del aire y de la solución polimérica, y la temperatura, forma y diseño de la boquilla de pulverización, la cual, a su vez, determina la tasa de flujo, la distancia y el ángulo. Por ejemplo, el sistema de pulverización clásico puede producir una pulverización fina con una distribución relativa del tamaño de las gotas de hasta 20 μm (Dhanapal, y otros, 2012).

Si bien los costos operativos son más elevados que los del método de inmersión, es la técnica más apropiada para implementar a escala industrial porque puede abarcar grandes superficies y es más rápida. Esto último se atribuye a que la inmersión requiere un paso extra a diferencia

de la pulverización que es el de drenaje de la solución sobrante. Sumado a ello, las cantidades necesarias de solución para la aplicación de recubrimientos por inmersión no pueden controlarse fácilmente, lo que dificulta su aplicación industrial (Andrade, Skurtys, & Osorio, 2012).

Por último, el cepillado, tal como su nombre lo indica consiste en distribuir la solución con un cepillo o equipo de cepillado directamente sobre la superficie del producto. Es un método empleado principalmente sobre aquellos productos en los que la reducción de la pérdida de humedad representa un problema como, por ejemplo, en las frutillas frescas (Valdés, Burgos, Jiménez, & Garrigós, 2015).

5.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El uso de RCs es una herramienta prometedora para desacelerar el proceso de deterioro natural que sufren los productos hortofrutícolas durante el almacenamiento, y así extender sus cualidades físicas, químicas, nutritivas y microbiológicas. Fundamentalmente, la trascendencia de esta tecnología postcosecha se debe a su compatibilidad con el cuidado ambiental, considerando que hoy en día existe una tendencia creciente por parte de los consumidores hacia hábitos más amigables con la naturaleza. No solo sus componentes son biodegradables, sino que también su implementación contribuye a disminuir la pérdida y el desperdicio de alimentos. Estos últimos son ocasionados principalmente por la vida útil limitada, la variabilidad de la demanda y la necesidad de que los productos alimenticios cumplan con los estándares estéticos en términos de color, forma y tamaño (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

Los RCs constituyen una alternativa de empaque sin costos ambientales porque, además de su formulación en base a biomateriales, son de carácter comestible. De esta forma, al no tener que ser eliminados antes del consumo, no generan desechos. Por otro lado, tampoco producen efectos adversos sobre la salud, lo cual es un valor agregado que favorece la aceptación por parte de los consumidores que buscan productos saludables y naturales. Además, poseen la ventaja adicional de poder actuar como vehículo para la incorporación de diferentes componentes como pueden ser agentes antimicrobianos, antioxidantes, estabilizantes de la textura, pre- y probióticos, entre otros, con el objetivo de mejorar las características sensoriales, la seguridad alimentaria y el valor nutritivo del alimento, y, así, también conferir un efecto beneficioso para la salud.

A diferencia de otras tecnologías postcosecha, esta no requiere instalaciones sofisticadas, por lo que su aplicación también es viable en países en vías de desarrollo (Navarro Tarazaga, 2007). Sin embargo, el gran inconveniente que presentan es que su efectividad está condicionada por una inmensa cantidad de variables, las cuales se ajustan en función de los requerimientos específicos del alimento a recubrir. De esta forma, un mismo RC difícilmente pueda aplicarse a distintos sustratos con un impacto positivo sobre la vida útil de estos. Esto

significa que la versatilidad de los recubrimientos se ve limitada, dificultando la implementación de esta tecnología en la industria postcosecha (Navarro Tarazaga, 2007). No obstante, considerando las características de los arándanos y el rol protagónico de la exportación en lo que respecta a estos, la implementación de RCs diseñados para conservar estos frutos tiene potencial para que así estos puedan llegar a los mercados de destino en un estado aceptable para su comercialización.

5.3.5 ADITIVOS

5.3.5.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AEs) son compuestos naturales volátiles sintetizados como metabolitos secundarios por diferentes órganos de plantas aromáticas y medicinales. Se caracterizan por su fuerte aroma y presentan diferentes actividades biológicas atribuibles a algunos de sus componentes, principalmente terpenos y ácidos fenólicos, como por ejemplo el carvacrol (5-isopropil-2-metilfenol) y el timol (2-isopropil-5-metilfenol), siendo este último un isómero del primero. Estos son los constituyentes mayoritarios del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) y tomillo (*Thymus vulgaris* L.), y su potencial como aditivos naturales en los RCs se debe a sus potentes propiedades antibacterianas y antifúngicas. Sumado a ello, están calificados como seguros para el consumo humano por la FDA y registrados por la Comisión Europea para su uso como aditivo alimentario producto de su nula toxicidad.

Químicamente, el carvacrol (CVR) y el timol son fenoles monoterpénicos (Figura 23b, 23c) cuya bioactividad está estrechamente relacionada con su estructura molecular y su concentración (Gutiérrez-Larraínzar, y otros, 2012). Específicamente, su carácter hidrofóbico les facilita el pasaje a través de la membrana celular bacteriana o de las hifas, pudiéndose integrar a esta y alterar su normal funcionamiento. Es así como su principal modo de acción consiste en dañar la integridad de la membrana celular provocando un aumento en la permeabilidad al ATP y una mayor liberación de otros constituyentes celulares como iones potasio entre otros, lo cual desencadena la muerte celular (Veldhuizen, Tjeerdsma-van Bokhoven, Zweijter, Burt, & Haagsman, 2006; Zhang, Ma, Du, Chen, & Sun, 2019).

Trabajos como el de Gutiérrez-Larraínzar, y otros (2012) han demostrado el poderoso efecto antimicrobiano de estos monoterpénicos contra bacterias Gram positivas como *Bacillus cereus* y *S. aureus*, y Gram negativas como *E. coli* y *Pseudomonas fluorescens*; cuatro cepas bacterianas transmitidas por los alimentos que causan enfermedades. Con relación a la acción de estos compuestos bioactivos frente a patógenos fúngicos, varios autores han publicado que ejercen actividad fungistática y/o fungicida sobre diferentes especies, siendo las más relevantes en este caso *B. cinérea* y *R. stolonifer* por su influencia en lo que respecta a los arándanos (Zhang, Ma, Du, Chen, & Sun, 2019; Camele, y otros, 2012).

El aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum* L.) es otro agente antimicrobiano natural de alta calidad que se utiliza ampliamente en el almacenamiento de frutas. A diferencia del aceite esencial de orégano y tomillo que se extraen del follaje, este proviene de la corteza del árbol. Sus propiedades antibacterianas y antifúngicas se atribuyen principalmente al trans-cinamaldehído (trans-3-fenilpropenal) (Figura 23a), su componente más abundante con un porcentaje relativo igual a 85.65 (Xing, y otros, 2016). Este último es un líquido viscoso de color amarillo pálido y es el compuesto responsable del sabor y olor característico de la canela (Vergis, Gokulakrishnan, Agarwal, & Kumar, 2013).

Diversos estudios demuestran que el trans-cinamaldehído (ECIN), al igual que el CVR, es un excelente inhibidor del crecimiento de patógenos asociados a frutas y verduras. Algunos ejemplos incluyen cepas bacterianas Gram positivas como *B. cereus*, *Listeria monocytogenes* y *S. aureus*, y Gram negativas como *E. coli* y *Salmonella typhimurium* (Shan, Cai, Brooks, & Corke, 2007; Vergis, Gokulakrishnan, Agarwal, & Kumar, 2013); así como también ciertas cepas fúngicas incluyendo *B. cinérea* y *R. stolonifer*, entre otras (Naserzadeh, Mahmoudi, & Pakina, 2019). Sin embargo, su mecanismo de acción difiere del de los fenoles por más que ambos disipan la fuerza motriz del protón. El aldehído no desintegra la membrana celular externa ni agota la reserva de ATP intracelular, sino que produce una ruptura parcial por donde se fugan iones pequeños en lugar de componentes celulares más grandes como el ATP (Donsi, Annunziata, Vincensi, & Ferrari, 2011; Vergis, Gokulakrishnan, Agarwal, & Kumar, 2013; Gill & Holley, 2004).

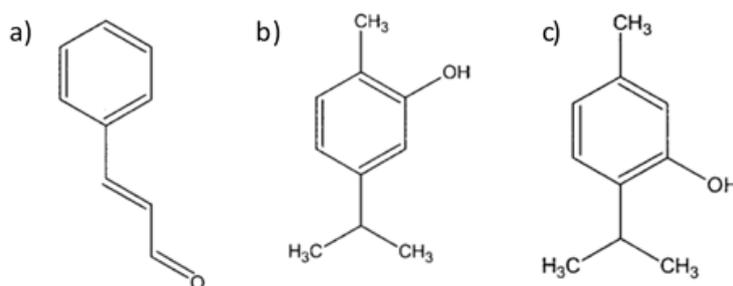


Figura 23: Estructura química del (a) trans-cinamaldehído, (b) el carvacrol y (c) el timol.

Fuente: Gill & Holley (2004).

5.3.5.2 Procianidinas

Las procianidinas son polifenoles pertenecientes al grupo de los flavonoides, subgrupo flavanoles. Específicamente, son compuestos oligoméricos formados por moléculas de tipo flavan-3-ol: (+) catequinas y (-) epicatequinas (Figura 24b). Se encuentran en una gran variedad de alimentos de origen vegetal, incluyendo semillas de uva, cáscara de manzana, arándanos rojos y azules, peras, cereales, legumbres y chocolate, y bebidas como vinos tintos, jugos de

frutas, café y té negro. Puntualmente, las semillas de uva son la fuente de extracción primaria (Lea, 2008).

Se pueden distinguir procianidinas de tipo A, B y C dependiendo de la configuración estereoespecífica y la unión entre los monómeros. Las de tipo B y C se caracterizan por una única unión interflavan generalmente entre el C4 del anillo C de la unidad superior y el C6 o C8 del anillo A de la unidad de abajo (Figura 24c, 24d). La diferencia entre ambas es que las primeras son dímeros y las otras, trímeros. Por su parte, las procianidinas del tipo A tienen un enlace adicional C-O entre el C2 de la unidad superior y el grupo hidroxilo del C7 o C5 del anillo A de la unidad inferior (Figura 24e). Las más abundantes son las procianidinas de tipo B, siendo las del enlace químico C4-C8 (B1, B2, B3 y B4) las más frecuentes (Tabla 4) (Ky, y otros, 2016; Rue, Rush, & Van Breemen, 2018).

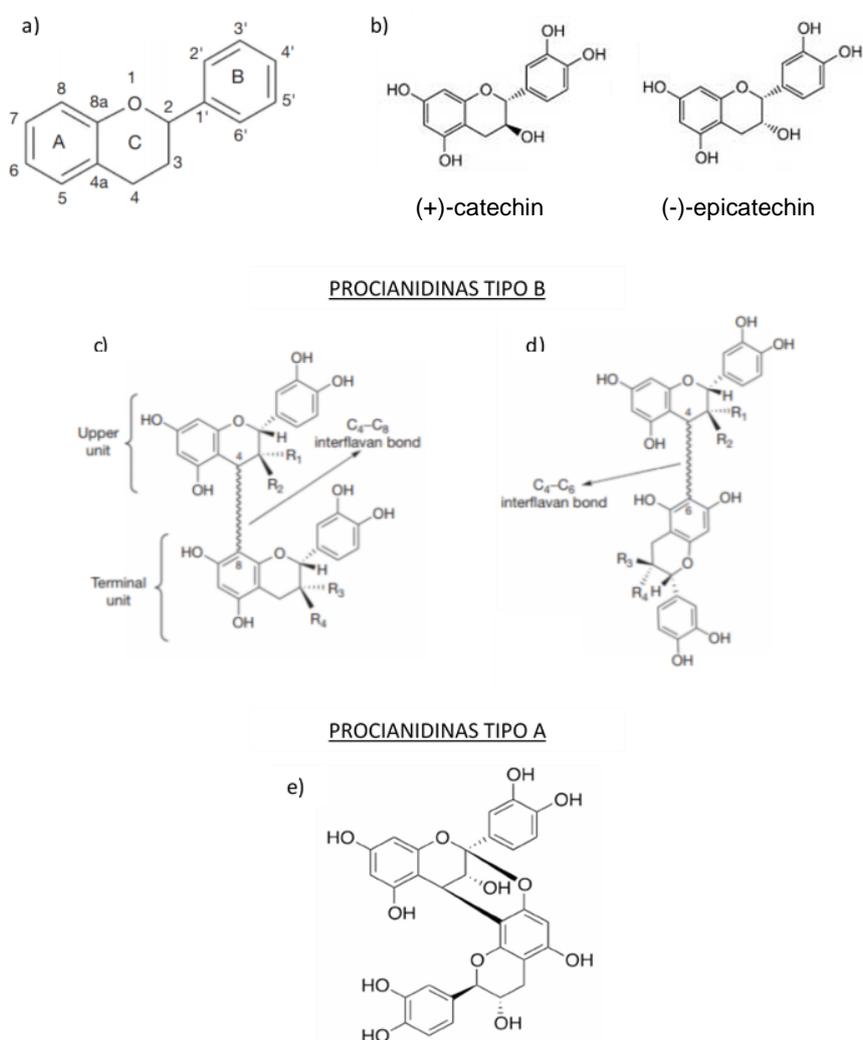


Figura 24: Estructura química de: (a) los anillos de los flavonoides y su sistema de numeración, (b) los flavanoles (+)-catequina y (-)-epicatequina, (c) las procianidinas de tipo B con enlace interflavan C4→C8, (d) las procianidinas de tipo B con enlace interflavan C4→C6, y (e) las procianidinas de tipo A.

Fuente: Ky, y otros (2016), Fernández-Larrea, y otros (2007) y Williams, y otros (2015).

Tabla 4: Procianidinas de mayor frecuencia.

PROCIANIDINA	NOMENCLATURA	ESTRUCTURA (Ver Figura 24c)
B ₁	(-)-Epicatechin-(4 α →8)-(+)-catechin	R ₁ = OH, R ₂ = H, R ₃ = H, R ₄ = OH
B ₂	(-)-Epicatechin-(4 α →8)-(-)-epicatechin	R ₁ = OH, R ₂ = H, R ₃ = H, R ₄ = OH
B ₃	(+)-Catechin-(4 α →8)-(+)-catechin	R ₁ = H, R ₂ = OH, R ₃ = H, R ₄ = OH
B ₄	(+)-Catechin-(4 α →8)-(-)-epicatechin	R ₁ = H, R ₂ = OH, R ₃ = OH, R ₄ = H

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de Ky, y otros (2016).

Se caracterizan por su fuerte actividad antioxidante, de hecho, han demostrado ser 50 y 20 veces más eficaz que la vitamina E y la vitamina C, respectivamente (Shi, Yu, Pohorly, & Kakuda, 2003). Esto es beneficioso tanto para el fruto como para el consumidor ya que protegen a los componentes celulares del estrés oxidativo que es el agente causal de enfermedades degenerativas. En cuanto a los frutos, además de añadir valor y mejorar las funciones nutricionales de estos, previenen la oxidación que es uno de los grandes problemas que afecta la calidad del alimento. Al mismo tiempo, han demostrado alta actividad antibacteriana, por ejemplo, contra *S. aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *S. epidermidis*, *Haemophilus influenzae*, *P. aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *E. coli* (Mayer, y otros, 2008).

Su ingesta también presenta efectos beneficiosos sobre el sistema vascular, incluyendo la dilatación de los vasos sanguíneos dependiente del endotelio, y la disminución de la concentración de colesterol LDL, de los niveles plasmáticos de peróxido lipídico y de la presión arterial (Williamson & Manach, 2005). A su vez, estos taninos condensados ejercen efectos protectores contra trastornos metabólicos como la resistencia a la insulina, y presentan otras actividades biológicas y farmacológicas como la antiinflamatoria y anticancerígena (Rauf, y otros, 2019).

Pese a estas propiedades, las procianidinas tienen la desventaja de que pueden impartir astringencia, amargor, acidez, dulzor, viscosidad salival, aroma y formación de color rojizo, afectando las características sensoriales del fruto una vez recubierto (Rauf, y otros, 2019). Según dichos autores, gran parte de las procianidinas de tipo A se caracterizan por su sabor dulce, mientras que en las otras predomina el sabor astringente. Puntualmente, los arándanos tienen procianidinas de tipo A que son las responsables del sabor dulce acidulado característico de estos.

5.3.5.3 Acíbar

El acíbar es la savia del *Aloe vera* y se caracteriza por ser un líquido espeso de color amarillo ámbar, gusto amargo y olor desagradable. Sus principales constituyentes activos (15 - 40%) son los derivados hidroxiantracénicos, en particular 10-C-heterósidos de aloe-emodin (1,8-dihidroxi-3-hidroximetil antraquinona), como las aloínas A (barbaloina) y B (isobarbaloina) (Villar del

Fresno & De las Heras, 2006), que son las responsable del olor y sabor repugnante del acíbar (Figura 25) (Domínguez-Fernández, y otros, 2012). Además, contiene 7-hidroxi aloínas A y B que son distintivas de esta especie, y aloinosidos A y B que son derivados ramnosilados sobre el hidroximetilo situado en el C3 de la aloína (Carretero Accame, 2007). En esta fracción líquida también se identifican C-glucósidos de cromona como la aloensina y aloerresinas A, B y C.

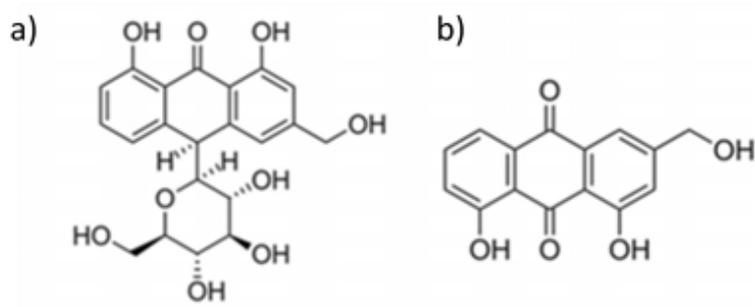


Figura 25: Estructura química de la (a) aloína A y (b) el aloe-emodin.

Fuente: Nicolau-Lapeña, y otros (2020).

Este exudado ha demostrado acción antifúngica contra hongos patógenos de plantas como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum coccodes* (Jasso de Rodríguez, Hernández-Castillo, Rodríguez-García, & Angulo-Sánchez, 2005), y, en lo que respecta a las propiedades farmacológicas, acción laxante atribuible al aloe-emodin (Carretero Accame, 2007). En detalle, los heterósidos hidroxiantracénicos no se absorben en el intestino delgado y, al llegar al intestino grueso, la flora intestinal los hidroliza en el colon, liberando la genina. Esta última actúa sobre las terminaciones nerviosas de la membrana intestinal aumentando la motilidad y estimulando el peristaltismo. Al mismo tiempo, también estimula la secreción mucosa y de líquido hacia la luz intestinal, e inhibe la reabsorción de agua y electrolitos en el intestino grueso (Tránsito López Luengo, 2004).

Pese a estas bondades, dosis elevadas de acíbar pueden producir un fuerte efecto purgante causando vómitos, diarreas sanguinolentas y cólicos intestinales. Además, empleado de forma crónica, puede originar alteraciones en el balance electrolítico sodio/potasio, disfunción renal y melanosis coli, una condición benigna caracterizada por la pigmentación oscura de la mucosa del colon (Carretero Accame, 2007). Sumado a ello, tiene varias contraindicaciones incluyendo embarazadas, mujeres en periodo de lactancia y niños menores de 10 años por la existencia de riesgo genotóxico de los derivados antraquinónicos (Villar del Fresno & De las Heras, 2006), y pacientes que presenten apendicitis, colitis ulcerosa, cistitis, prostatitis, disentería, síndrome del intestino irritable y afecciones uterinas en general (Ramírez G. , 2003).

5.3.5.4 *Extracto de propóleo*

El propóleo es una sustancia resinosa natural que las abejas recogen de partes de plantas (hojas, tallos, capullos, etc.) y grietas de la corteza de numerosas especies de árboles, especialmente coníferas como el álamo, el abedul, el eucalipto y el roble, entre otros, y luego transportan a la colmena para procesarla, es decir, mezclarla con cera de abeja, polen, y enzimas. Se trata de una sustancia altamente adhesiva, aromática y cuyo color puede variar de amarillo claro a marrón oscuro dependiendo de su fuente y edad.

Se trata de un material de naturaleza lipídica cuya composición es variable en función del clima, la región geográfica, la temporada de cosecha y el cultivar. Generalmente, se considera que contiene 50% de resinas y bálsamos vegetales, un 30% de cera, un 5% de polen, 10% de aceites aromáticos y esenciales, y 5% de otras sustancias (Burdock, 1998; Przybyłek & Karpiński, 2019). Estos componentes provienen de 3 fuentes: el exudado vegetal que recolectan las abejas, las sustancias secretadas por el metabolismo de las abejas, y los materiales que estas introducen durante el procesamiento.

Se han identificado más de 300 compuestos químicos en el propóleo, siendo los predominantes los polifenoles (ácidos fenólicos, sus ésteres y flavonoides) y los terpenoides, ambos contenidos en las resinas y bálsamos (Przybyłek & Karpiński, 2019). Estos constituyentes mayoritarios, a su vez, se reconocen como los responsables de la mayoría de las actividades biológicas y farmacológicas del propóleo, entre las que destacan propiedades antioxidantes, antibióticas, antifúngicas, antivirales, antiinflamatorias, antihepatotóxicas, anticancerígenas y cardio y neuro protectoras (Mohammadzadeh, y otros, 2007; Ali, Wei, & Mustafa, 2014; Yong & Liu, 2021).

En lo que respecta a la acción antimicrobiana, el propóleo ha demostrado ser activo contra hongos y cepas bacterianas Gram positivas y Gram negativas, aunque normalmente estas últimas no son muy sensibles. Esto se atribuye, por un lado, a la presencia de la pared externa en las bacterias Gram negativas, la cual protege a la membrana plasmática de los bio-componentes del propóleo que aumentan la permeabilidad de esta e inhiben la motilidad bacteriana; y, por otro lado, a la liberación de enzimas hidrolíticas por parte de estas bacterias que descomponen los ingredientes activos del propóleo (Sforcin, 2016). La actividad antimicrobiana no se debe a una única sustancia, sino que es el resultado de la acción compleja de varias estructuras aromáticas, ácidos alifáticos y otros compuestos como ésteres de cinamato y cafeato, y flavanonas como pinostrobin, pinocembrina, pinobanksina y pinobanksina-3-acetato (Mohammadzadeh, y otros, 2007; Sahinler & Kaftanoglu, 2005). La mayor o menor efectividad va a estar relacionada, en cierta medida, con la cantidad de estos compuestos bioactivos que contenga el propóleo.

Debido a la versatilidad de sus efectos biológicos y farmacológicos, el propóleo tiene amplias aplicaciones en medicina, cosmética y la industria alimentaria. Puntualmente en esta última, se

utiliza principalmente el extracto etanólico de propóleo (EEP) que deja de lado la cera. Este puede aplicarse directamente sobre el fruto en el proceso de higienización, reemplazando a los compuestos clorados utilizados comúnmente como el hipoclorito de sodio, o bien, como aditivo en la formulación de RCs (Pobiega, Kraśniewska, & Gniewosz, 2019). De cualquier forma, la presencia del EEP garantiza numerosos beneficios para la salud del consumidor y asegura la calidad y estabilidad microbiana del fruto durante el almacenamiento.

5.3.5.5 *Nanopartículas inorgánicas*

Los dióxidos de titanio y silicio (TiO_2 y SiO_2 , respectivamente), entre otras nanopartículas inorgánicas como ZnO y MgO , son ampliamente utilizados en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria hace décadas. Enfatizando en esta última, que es la que concierne al alcance de este trabajo, estos óxidos están registrados en el CODEX-Alimentarius como aditivos cuyo uso se permite en los alimentos en general, salvo indicación contraria, conforme con las Buenas Prácticas de Fabricación (BPF). El TiO_2 , conocido como INS 171, se clasifica como colorante, mientras que el SiO_2 , INS 551, como antiaglutinante, antiespumante y sustancia inerte (Codex Alimentarius - Norma General para los Aditivos Alimentarios, 1995).

La incorporación de nanopartículas (NPs) de estos óxidos a la formulación de RCs, principalmente a base de quitosano, es atractiva por su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas de estos. Específicamente, la presencia de estas refuerza la estructura de red del recubrimiento, confiriéndole mayor resistencia a la tracción; aunque esto, a su vez, afecta negativamente la flexibilidad de este (Kaewklin, Siripatrawan, Suwanagul, & Lee, 2018). Tanto el TiO_2 como el SiO_2 forman fácilmente enlaces de hidrógeno con los grupos funcionales del quitosano (-OH y -NH). Esto desorganiza la estructura original del biomaterial y contribuye a la dispersión de las NPs en la matriz (Tian, y otros, 2018). Al mismo tiempo, producto de estas interacciones intermoleculares, se forma una estructura compacta que dificulta el intercambio gaseoso, por lo que baja la permeabilidad a los gases y al vapor de agua.

En particular, con el fin de extender la vida útil de frutas y verduras, las nanopartículas de TiO_2 (NPs- TiO_2) constituyen un aditivo más apropiado que las nanopartículas de SiO_2 (NPs- SiO_2) por sus propiedades antimicrobianas intrínsecas contra hongos y bacterias Gram positivas y Gram negativas. Diversos estudios han demostrado su potencial para optimizar la acción antimicrobiana de los RCs de quitosano (Xing, y otros, 2021; Tian, y otros, 2018; Kaewklin, Siripatrawan, Suwanagul, & Lee, 2018). Esto se atribuye, por un lado, a la actividad fotocatalítica de estas NPs y, por otro, a su tamaño nanométrico que favorece su penetración en las células patógenas para provocar una alteración en las funciones nucleares que conduce a la muerte celular (Tian, y otros, 2018).

Este dióxido es un semiconductor que en presencia de una energía igual o superior a la energía de su banda prohibida ("band gap"), como la luz visible o luz UV, genera radicales libres

en su superficie que reaccionan con las especies de alrededor mediante procesos de oxidación-reducción (Betancur Henao, Hernández Montes, & Buitrago Sierra, 2016). En este caso, al estar próximos a las células patógenas, causan la peroxidación de los fosfolípidos de la membrana celular conduciendo a la fuga del contenido de la célula hasta alcanzar la interrupción de la respiración celular y, por ende, provocar la lisis de las células nocivas. Al mismo tiempo, las especies reactivas de oxígeno que se generan reaccionan con el etileno oxidándolo a CO_2 y H_2O , por lo que disminuye la tasa de respiración de los frutos y, consecuentemente, se retrasa su proceso de maduración (Kaewklin, Siripatrawan, Suwanagul, & Lee, 2018).

El TiO_2 es un compuesto químico ampliamente conocido como “colorante natural” que se sintetiza por casi ya 100 años a partir ilmenita (FeTiO_3) mediante los procesos de sulfato o cloruro. Es estable ante los efectos del calor, la luz y la intemperie, y tiene buena capacidad de apantallamiento de los rayos UV (Cano, Pollet, Avérous, & Tercjak, 2016). Por su parte, el quitosano es un biopolímero sensible a la luz UV, pudiendo sufrir cambios en la estructura de su cadena como degradación de la glucosamina, agrietamiento y hasta desintegración del recubrimiento si el agrietamiento avanza demasiado. Teniendo esto en cuenta, la incorporación de NPs- TiO_2 en los RCs de quitosano resulta muy útil porque evita que estos se degraden e, incluso, impide la oxidación de los lípidos en el alimento inducida por la luz UV, ya que éstas NPs actúan como filtros que tamizan la radiación que penetra a través del material (Díaz-Visurraga, Meléndrez, García, Paulraj, & Cárdenas, 2010).

No obstante, al igual que otros aditivos, presenta ciertas desventajas que afectan su aceptación por parte del consumidor. Una de las aplicaciones más importantes del TiO_2 es como pigmento blanco por sus cualidades reflectantes, proporcionando, además de un efecto blanqueador, un aspecto brillante atribuible a su elevado índice de refracción. En consecuencia, la adición de este a la matriz de quitosano en una concentración mayor a 2% m/m les otorga un color blancuzco a los recubrimientos y provoca un descenso considerable en la transparencia de estos por su capacidad de apantallar la luz UV, volviéndolos opacos y poco atractivos, pese al brillo que adquieren (Cano, Pollet, Avérous, & Tercjak, 2016).

Por otro lado, de acuerdo con lo establecido en la FDA, el uso de este como aditivo colorante en alimentos es seguro en proporciones $\leq 1.0\%$ m/m del alimento (Listing of Color Additives Exempt from Certification - Titanium dioxide, 2020). Sin embargo, en 2019, la Comisión Técnica de Aditivos Alimentarios y Fuentes de Nutrientes Añadidos a los Alimentos (Comisión ANS) de la European Food Safety Authority (EFSA) revaluó su seguridad teniendo en cuenta los requisitos especificados en la Guía de la EFSA sobre Nanotecnología, y dispuso que no debería seguir siendo considerado como un aditivo seguro (EFSA Panel on Food Additives and Flavourings, y otros, 2021). Esto se concluyó, principalmente, en base al hecho de que no se puede descartar la preocupación por la genotoxicidad, e, incluso, resolvieron que las partículas de TiO_2 tienen potencial para inducir roturas en la cadena de ADN y daños cromosómicos, aunque no

mutaciones genéticas. Asimismo, la Comisión ANS encontró estudios que exponen que las NPs-TiO₂ exhibieron efectos neurotóxicos, inmunotóxicos e inflamatorios.

5.3.5.6 Nisina

La nisina es un péptido antimicrobiano producido de forma natural por cepas de *Lactococcus lactis*. Está compuesta por 34 aminoácidos (Figura 26) y tiene un peso molecular total de 3510 Daltons. Fue aprobada en 1969 por la FAO y la OMS para ser utilizada como aditivo en alimentos, y en 1988 fue declarada sustancia GRAS por la FDA para su uso en productos cárnicos y avícolas cocidos (Rhodia, 2000). Al día de la fecha, es la única bacteriocina que puede ser utilizada en forma purificada directamente en la formulación de productos alimenticios. No obstante, lo cierto es que la FDA permite su uso solo en productos enlatados y quesos untables pasteurizados, con un límite máximo de 250 ppm en el producto terminado, para inhibir el crecimiento de esporas de *Clostridium botulinum* y la formación de toxinas (Listing of Specific Substances Affirmed as GRAS - Nisin preparation, 2020).

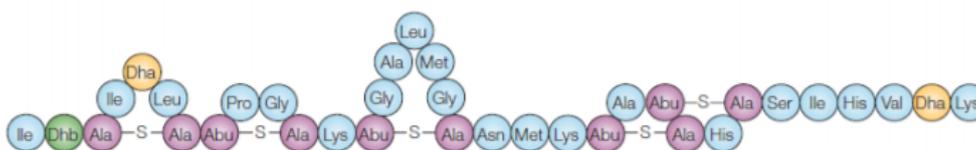


Figura 26: Estructura molecular de la nisina.

Fuente: Ubaque Beltrán (2020).

En cuanto a su acción antimicrobiana, exhibe fuerte actividad contra una amplia gama de bacterias Gram positivas, incluyendo bacterias formadoras de esporas y otras bacterias patógenas, como *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *Clostridium* spp., *Enterococcus* spp., *Staphylococcus* spp. y *Streptococcus* spp., y poca o ninguna actividad contra bacterias Gram negativas (Cano-Serna, Gómez-Marín, Oviedo-Gallego, & Ríos-Osorio, 2015). El efecto que produce puede ser tanto bactericida como bacteriostático dependiendo de la concentración empleada, su difusión en la matriz y las propiedades fisicoquímicas de esta como el pH y la temperatura de almacenamiento. Esta bacteriocina es estable al calor y a pH ácido. Específicamente, tiene su máxima solubilidad y estabilidad a pH 2; de allí que, en particular, el pH es un parámetro muy influyente.

Tiene un mecanismo de acción dual que desestabiliza las funciones de la membrana citoplasmática (Negash & Tsehai, 2020; Cano-Serna, Gómez-Marín, Oviedo-Gallego, & Ríos-Osorio, 2015). Detalladamente, puede unirse mediante interacciones electrostáticas a los fosfolípidos aniónicos de la membrana celular, incluyendo el lípido II (molécula precursora en la

síntesis de la pared celular de las bacterias), y, por lo tanto, impedir la correcta síntesis de esta, provocando, así, la muerte de la célula. Al mismo tiempo, al acoplarse al lípido-II interfiere en el transporte de las subunidades de peptidoglicano desde el citoplasma hasta la pared celular. Esto deriva en la formación de un poro transmembranal que permite la filtración del contenido celular (aminoácidos, sales y ATP), un proceso que conduce a la rápida muerte de la célula. El comportamiento menos eficaz frente a bacterias Gram negativas puede explicarse por la pared externa que tienen estas bacterias que actúa como una barrera impermeable que impide que la nisina alcance la membrana citoplasmática (Stevens, Sheldon, Klapes, & Klaenhammer, 1991).

Además de sus propiedades antimicrobianas, tiene la ventaja adicional de ser incolora, inodora e insípida, generando un impacto mínimo en las propiedades organolépticas de los alimentos. Sumado a ello, desde el punto de vista del consumo humano, por su naturaleza peptídica puede ser degradada por las enzimas digestivas, evitando alteraciones en la microbiota del tracto digestivo (Cano-Serna, Gómez-Marín, Oviedo-Gallego, & Ríos-Osorio, 2015).

5.3.5.7 Probióticos y prebióticos

El término "probiótico", cuya raíz es de origen griego (pro = vida), fue inicialmente utilizado como un antónimo de la palabra antibiótico. Luego de varias redefiniciones, en el 2001, la FAO/OMS definió al término "probiótico" como "microorganismos vivos que, al ser administrados en cantidades adecuadas, ejercen una acción fisiológica beneficiosa sobre la salud del hospedador". En consecuencia, una gran variedad de géneros y especies pueden considerarse potenciales probióticos (*Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus*, *Bifidobacterium lactis*, *B. bifidum*, *B. longum*, *Bacillus*, *Enterococcus*, y levaduras *Saccharomyces*). Sin embargo, comercialmente, los probióticos más importantes son las bacterias ácido-lácticas (BAL).

Las BAL son un grupo heterogéneo de bacterias Gram positivas fermentadoras que se caracterizan por producir ácido láctico como producto principal de la fermentación de carbohidratos. Se trata de microorganismos no formadores de esporas, anaerobios facultativos y catalasa y oxidasa negativos. Dentro de este grupo, los géneros más importantes son *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* y *Leuconostoc*. A su vez, también se diferencian dos subgrupos en función del metabolismo de los carbohidratos: bacterias homofermentativas que producen exclusivamente ácido láctico, y heterofermentativas que, además de lactato, originan dióxido de carbono, etanol o ácido acético.

Estas bacterias consideradas como organismos GRAS tienen diversas aplicaciones entre las que destacan su rol en la industria láctea como starters, es decir, cultivo acidificante en los procesos de elaboración de queso y yogurt, y su uso como probióticos para mejorar la salud intestinal y estimular el sistema inmunológico (Páez, 2013; Ramírez, Ulloa, Velázquez González, Ulloa, & Romero, 2011). En su función como probióticos, las BAL no solo favorecen el desarrollo de la flora microbiana nativa del intestino, sino que también impiden la colonización de bacterias

patógenas como *Salmonella*, *E. coli*, etc., previniendo infecciones entéricas y gastrointestinales. Este efecto protector se debe a la competencia por los sitios receptores de adhesión al epitelio intestinal, la producción de sustancias antibacterianas (ácidos orgánicos y antibióticos) y/o la estimulación del sistema inmune.

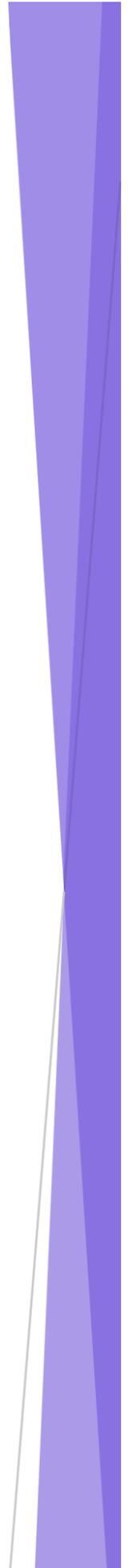
El consumo de probióticos tiene otros tantos efectos beneficiosos, pero requieren de su ingesta regular y de la idoneidad del probiótico elegido para el estado patológico a tratar (Garrote & Bonet, 2017). Algunos de ellos incluyen:

- Prevenir y tratar diarreas infecciosas y las debidas al consumo de antibióticos, ya que facilitan la recolonización del intestino por los microorganismos autóctonos.
- Atenuar los síntomas de la inflamación intestinal mediante el mantenimiento y la restitución de la integridad de la mucosa intestinal.
- Aliviar la intolerancia a la lactosa promoviendo la digestión a nivel intestinal.
- Favorecer la absorción de minerales y vitaminas.
- Disminuir la producción de enzimas como la β -glucuronidasa, la β -glucosidasa, la nitroreductasa y la ureasa que participan en la activación metabólica de los mutágenos y carcinógenos (De las Cagigas Reig & Anesto, 2002).

Por su parte, los prebióticos son ingredientes alimenticios no digeribles que afectan beneficiosamente al consumidor. Puntualmente, estimulan de forma selectiva el desarrollo y/o actividad de una o más especies bacterianas residentes del colon, las cuales tienen el potencial de mejorar la salud del hospedador. Fundamentalmente, se trata de fructo y galacto oligosacáridos, incluyendo la fibra dietaria.

Si bien tanto los probióticos como los prebióticos no contribuyen por sí mismos a mantener la calidad de los frutos, su incorporación en la formulación de RCs representa un aporte muy valioso para desarrollar alimentos funcionales no-lácteos. Esto considerando el creciente incremento de personas intolerantes a la lactosa, con alergia a proteínas lácteas y/o veganas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS



6 MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo tiene un enfoque cuantitativo porque considera los resultados obtenidos en diversos estudios experimentales para distintas formulaciones de recubrimientos comestibles, incluyendo características fisicoquímicas y su comportamiento *in vivo*, con el propósito de probar la eficacia de estos para prolongar la vida útil de arándanos azules. Además, mediante la comparación de los resultados, aportando evidencia a favor y en contra, se busca hallar la composición que mejor se adapte al propósito de aplicación y proporcione las mayores ventajas.

En cuanto al alcance de la investigación, esta adopta un carácter descriptivo y un diseño no experimental transversal, ya que se pretende detallar la composición y las propiedades de distintos recubrimientos comestibles que, al momento, se han evaluado en arándanos.

6.1 METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA

La búsqueda de la bibliografía fue realizada electrónicamente consultando los siguientes repositorios: Google Académico, EBSCO, Elsevier, Scielo y Dialnet, limitando los idiomas a inglés y español. Específicamente, el tipo de bibliografía incluida fueron libros, publicaciones de revistas científicas, incluyendo casos experimentales y reviews, documentos técnicos y tesis publicadas. Dichos artículos fueron identificados utilizando las siguientes palabras claves: recubrimientos comestibles, conservación de arándanos y biopolímeros. Estos términos fueron modificados según los requisitos de cada base de datos.

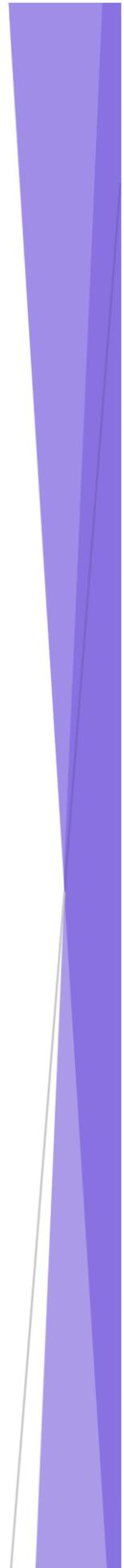
6.2 SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

Para esta revisión bibliográfica se tuvieron en cuenta publicaciones científicas y tesis publicadas sobre ensayos experimentales *in vivo* evaluando diferentes recubrimientos comestibles en arándanos azules (*Vaccinium* spp).

A partir de la lectura de los títulos y resúmenes identificados, se realizó una primera selección en busca de una amplia variedad de materiales de base y aditivos. Respecto a los primeros, se consideraron, principalmente, aquellos que mayor difusión han tenido en otros sustratos también pertenecientes a las frutas finas, como cerezas y frutillas. En tanto a los aditivos, la investigación estuvo más orientada a exponer alternativas tradicionales e innovadoras, tanto de origen orgánico como inorgánico.

Posteriormente, se verificó la inclusión de la determinación de la pérdida de peso y el crecimiento microbiano como parámetros clave en la eficiencia de los RCs. Si bien su ausencia no fue considerada como criterio de exclusión, se valoró su inclusión, así como la del análisis sensorial, por la implicancia que tienen en el resultado final.

7. RESULTADOS



7 RESULTADOS

A continuación, se presentan en la Tabla 5 las formulaciones de algunos de los RCs que se han probado sobre arándanos azules sin visibles defectos. Se identifican las respectivas condiciones de estudio y se detallan en forma sintetizada los resultados obtenidos al final del almacenamiento con cada uno de ellos.

Condiciones de estudio

En su mayoría se consideraron trabajos realizados en condiciones refrigeradas entre 0 - 5°C ya que, de por sí, las bajas temperaturas favorecen a reducir la tasa respiratoria, la deshidratación y la incidencia de desórdenes relacionados con la senescencia y las podredumbres. Por su parte, la inclusión de trabajos realizados a temperatura ambiente está orientada a demostrar la efectividad de esta tecnología y, a su vez, evidenciar el efecto considerable de la refrigeración en la extensión de la vida útil de las bayas.

Respecto al método de aplicación de los recubrimientos, en prácticamente todos los estudios se empleó la inmersión ya que, de todas las técnicas, es la más apropiada para estudios a escala de laboratorio considerando la relación costo-beneficio. Únicamente en el trabajo realizado por Pobiega, Igielska, Włodarczyk, & Gniewosz (2020) utilizaron cepillado.

Resultados al final del almacenamiento

Se consideraron los resultados al final del almacenamiento con el propósito de independizar, en cierto modo, la variación de las variables analizadas durante el periodo de almacenamiento y, así, poder realizar la comparación entre los distintos recubrimientos. Asimismo, para facilitar dicha comparación, los resultados se expresaron de forma cualitativa. Esto teniendo en cuenta que cada uno de los parámetros que se determinaron para evaluar la eficacia de los RCs no fueron analizados de la misma forma en todos los trabajos de investigación considerados.

Tabla 5: Estudios sobre recubrimientos comestibles aplicados en arándanos azules.

RECUBRIMIENTO COMESTIBLE	CONDICIONES DE ESTUDIO	RESULTADOS AL FINAL DEL ALMACENAMIENTO	FUENTE
Quitosano al 1% con 2.5% de glicerol	4 ± 1°C durante 7 días.	Respecto al Control: - Firmeza similar. - Mayor acidez. - SST similares. - Mayor luminosidad. - Reducción significativa de podredumbres.	(Cruañes & Locaso, 2011)

RECUBRIMIENTO COMESTIBLE	CONDICIONES DE ESTUDIO	RESULTADOS AL FINAL DEL ALMACENAMIENTO	FUENTE
1) Quitosano al 2% con 50% de glicerol y 0.15% de Tween 20. 2) Alginato de calcio al 1.5% 3) Quitosano al 1.5% y Alginato de Sodio al 1% con 25% de glicerol y 0.15% de Tween 20.	$0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y 75% de HR durante 45 días.	Comparando los 3 tratamientos: - Quitosano combinado con Alginato obtuvo la mayor pérdida de peso. - Quitosano mostró la menor permeabilidad al vapor de agua y, por ende, redujo la pérdida de peso. Por otro lado, presentó la menor luminosidad y el mayor aumento de SST, pero redujo el crecimiento de microorganismos comparado con el control. - Alginato de calcio mostró mayor firmeza y brillo, pero menor AT incluso respecto al control.	(Chiabrandó & Giacalone, 2017)
Pululano al 10% con 1% de glicerol.	$4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y HR > 95% durante 28 días. $16 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 60 – 70% de HR durante 14 días.	Respecto al Control: - Arándanos almacenados a 4°C no presentaron diferencias significativas en cuanto a la pérdida de peso, pero sí los almacenados a 16°C . Esto se atribuye a la alta HR en el primero. - Ninguno de los tratamientos evidenció diferencias en cuanto al contenido de SST. - Ambos mantuvieron el contenido de ácido L-ascórbico en los frutos y minimizaron el aumento de polifenoles. - Mostraron buena hidratación y color, y menor incidencia de deterioro microbiano.	(Krásniewska, y otros, 2017)
1) Alginato de Sodio al 2% con 1.5% de glicerol y 2% de Tween 20. 2) Pectina al 2% con 1.5% de glicerol y 2% de Tween 20. 3) Alginato de Sodio al 1% y Pectina al 1% en proporciones iguales con 1.5% de glicerol y 2% de Tween 20.	4°C durante 14 días.	Respecto al Control: - Ninguno de los tratamientos evidenció diferencias en cuanto a la pérdida de peso. - Los 3 RCs presentaron menor luminosidad, pero un tono azul más intenso. Respecto al Control y los otros tratamientos: - Alginato y Pectina redujeron el crecimiento de microorganismos. - El RC de Pectina presentó la menor cantidad de SST.	(Mannozi, y otros, 2016)
Pectina al 0.06% y Quitosano al 0.34% con 0.5% de glicerol y 0.2% de Tween 80.	4°C durante 22 días.	Respecto al Control: - Menor pérdida de peso. - Mayor conservación de la firmeza, SST, AT y polifenoles totales.	(Gonzales Huanri & Quispe Nazario, 2019)

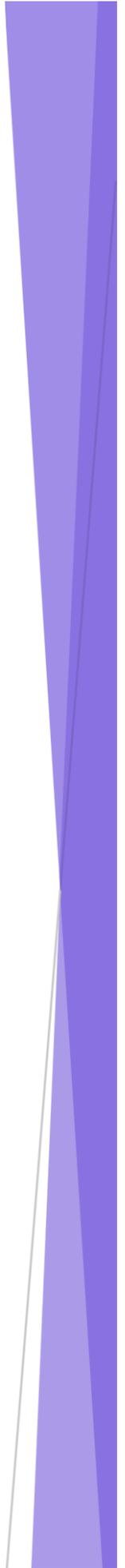
RECUBRIMIENTO COMESTIBLE	CONDICIONES DE ESTUDIO	RESULTADOS AL FINAL DEL ALMACENAMIENTO	FUENTE
1) Alginato de Calcio al 2% con 30% de glicerol. 2) Alginato de Calcio al 2% y CNFs al 0.1% con 30% de glicerol. 3) Alginato de Calcio al 2% y CNFs al 0.3% con 30% de glicerol.	4°C y 90% de HR durante 21 días.	Comparando los 3 tratamientos: - El RC de Alginato de Calcio fue más transparente que los otros dos. - La presencia de CNFs disminuyó la permeabilidad al vapor de agua. - La presencia de CNFs al 0.1% permitió alcanzar el menor ritmo respiratorio. Respecto al Control: - Exhibieron mayor brillo. - Redujeron significativamente la pérdida de peso. - Evitaron el aumento de los SST. - Sin diferencias en cuanto a la AT. - Mayor firmeza.	(Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Gómez-Hoyos, Zuluaga-Gallego, & López-Córdoba, 2020)
50% de Gel de Penca Sábila y 1% de Cera de Abeja con 0.75% de glicerol y 0.1% de Tween 80.	Temperatura ambiente (17 – 18°C) durante 13 días.	Respecto al Control: - Menor pérdida de peso. - No hubo diferencia significativa en cuanto al contenido de SST. - Retrasó la oxidación de los ácidos orgánicos, pero mantuvo mayor acidez con 25% de Gel de Penca Sábila y 1% de Cera de Abeja. - Mayor aceptabilidad en cuanto al color, olor, sabor y textura en la evaluación sensorial. - Redujo el crecimiento microbiano.	(Vasquez Tantalean, 2019)
HPMC al 0.5, 1.5 y 3% y 0.2% m/v carragenina κ con 2% v/v de sorbitol o propilenglicol y 0.2% m/v de emulsión de cera de carnauba.	5, 20 y 30°C y 100% de HR durante 8 días.	- La transmisión del vapor de agua depende de las condiciones de almacenamiento (temperatura y HR), composición y espesor de la película. - La barrera al vapor de agua aumenta con la reducción del tamaño de las partículas lipídicas y con la distribución homogénea de estas.	(Osorio, Molina, Matiacevich, Enrione, & Skurtys, 2011)

RECUBRIMIENTO COMESTIBLE	CONDICIONES DE ESTUDIO	RESULTADOS AL FINAL DEL ALMACENAMIENTO	FUENTE
1) Alginato de Calcio al 2% con 30% de glicerol. 2) Alginato de Calcio al 2% y 0.03% de CVR con 30% de glicerol y 0.003% de Tween 80. 3) Alginato de Calcio al 2% y 0.06% de CVR con 30% de glicerol y 0.006% de Tween 80. 4) Alginato de Calcio al 2% y 0.09% de CVR con 30% de glicerol y 0.009% de Tween 80.	4°C y 90% de HR durante 21 días.	Comparando las 3 concentraciones de CVR: - CVR al 0.03% disminuyó significativamente el ritmo de respiración de las bayas. - CVR al 0.09% afectó significativamente la aceptabilidad general, el sabor, olor y la textura de los frutos. Respecto a los recubiertos con Alginato-Ca: - Similar luminosidad y firmeza, más allá de la concentración de CVR. - Mayor reducción en la pérdida de peso independientemente de la concentración de CVR. - Mayor adherencia del RC a la superficie de las bayas. - Mayor actividad antimicrobiana contra bacterias mesofílicas aeróbicas conforme aumenta la concentración de CVR, y solo CVR al 0.09% mostró un significativo efecto en la reducción del crecimiento de hongos y levaduras. - Menores signos de pudrición proporcional a la concentración de CVR. - Mayor contenido de polifenoles en la fruta. - Menor aceptación en cuanto a sabor.	(Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Díaz-Goyanes, & López-Córdoba, 2020)
1) Pululano al 1% con 1% de glicerol. 2) Pululano al 1% y 5% de EEP con 1% de glicerol. 3) Pululano al 1% y 10% de EEP con 1% de glicerol.	16°C y 58 – 63% de HR durante 21 días.	Respecto a los recubiertos con Pululano: - Mayor efectividad antimicrobiana en forma dependiente de la concentración, aunque ninguno de los 3 tratamientos afectó el crecimiento de <i>B. cinérea</i> . - Mayor conservación de la AT. - Sin diferencias en el contenido de SST. - Mayor reducción en la pérdida de peso, sobre todo con Pululano + EEP al 10%.	(Pobiega, Igielska, Włodarczyk, & Gniewosz, 2020)
1) Quitosano al 0.5% con 0.5% de glicerol y 0.1% de Tween 80. 2) Quitosano al 0.5% y 0.5% de Acíbar con 0.5% de glicerol y 0.1% de Tween 80.	5 ± 0.6°C y 90 ± 3% de HR durante 25 días.	Respecto a los recubiertos con Quitosano: - Mayor retención de la AT. - Mantuvo igual de bajo el contenido de SST. - Menor pérdida de peso. - Mejores resultados microbiológicos observándose completa inhibición en la primera semana de almacenamiento y menor cuantificación de CFU hasta el final.	(Vieira, y otros, 2016)

RECUBRIMIENTO COMESTIBLE	CONDICIONES DE ESTUDIO	RESULTADOS AL FINAL DEL ALMACENAMIENTO	FUENTE
1) Quitosano al 1% con 1.5% de glicerol y 0.20% de Tween 20. 2) Quitosano al 1% y 0.8% de Procianidinas con 1.5% de glicerol y 0.20% de Tween 20.	4°C durante 14 días.	Respecto a los recubiertos con Quitosano: <ul style="list-style-type: none"> - Similar pH y pérdida de peso, pero mayor retención de firmeza atribuible al engrosamiento del RC provocado por la adición de Procianidinas. - Mayor luminosidad y menor valor b*. - Mayor actividad antioxidante. - Menor efecto inhibitorio contra hongos y levaduras. 	(Mannozi, y otros, 2018)
1) Quitosano al 1% con glicerol. 2) Quitosano al 1% y 1% de Nano-TiO ₂ (CH/Nano-TiO ₂). 3) Quitosano al 1% y 1% de Nano-SiO ₂ (CH/Nano-SiO ₂).	Temperatura ambiente (27 ± 0.5°C) durante 8 días.	Respecto a los recubiertos con Quitosano: <ul style="list-style-type: none"> - CH/Nano-TiO₂ redujo significativamente la pérdida de peso y conservó mayor firmeza. - Mayor AT y menor porcentaje de maduración, puntualmente con CH/Nano-TiO₂. - CH/Nano-SiO₂ obtuvo menor pH y contenido de antocianinas. - Menor luminosidad y valor b*. - Menor contenido de ácido ascórbico. - CH/Nano-TiO₂ evitó el aumento en la actividad de la PPO, pero inactivó la enzima POD. - Sin diferencias significativas respecto al efecto antimicrobiano. 	(Li, y otros, 2021)
1) Quitosano al 1% con 0.5% de propilenglicol. 2) Quitosano al 1% y 1% de Nano-TiO ₂ modificadas con laurato de sodio.	0°C durante 32 días.	Respecto a los recubiertos con Quitosano: <ul style="list-style-type: none"> - Mayor firmeza y contenido de SST. - Menor disminución de la AT, aunque el RC de Quitosano mantuvo mejor el contenido de ácido ascórbico. - Menor actividad de la enzima PPO y mayor de la POD. - Mayor retención de antocianinas y polifenoles totales, por ende, menor daño oxidativo, mejor calidad visual y mayores propiedades nutraceuticas. - Mayor control del crecimiento bacteriano. 	(Xing, y otros, 2021)

RECUBRIMIENTO COMESTIBLE	CONDICIONES DE ESTUDIO	RESULTADOS AL FINAL DEL ALMACENAMIENTO	FUENTE
<ol style="list-style-type: none"> 1) Quitosano al 1% con 0.5% de glicerol. 2) Quitosano al 1% y 1% de Nano-SiO₂ (CH/Nano-SiO₂). 3) Quitosano al 1% y 1% de Nano-SiO₂ y de Nisina (CH/N/Nano-SiO₂). 	<p>Temperatura ambiente (28 ± 0.5°C) y 75% de HR durante 8 días.</p>	<p>Comparando los 2 tratamientos con aditivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - CH/Nano-SiO₂ lució mayor brillo, menor pH y mayor AT. - CH/N/Nano-SiO₂ presentó menor contenido de SST. <p>Respecto a los recubiertos con Quitosano:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mantuvieron la firmeza. - Menor pérdida de peso y contenido de SST, siendo más pronunciada la disminución con CH/N/Nano-SiO₂. - Menor luminosidad y valor b*. - Menor pH y SST, pero menor AT. - Menor porcentaje de maduración. - Menor contenido de Vitamina C, pero mayor contenido de antocianinas. - Significativamente mayor actividad de la POD, sobre todo con CH/N/Nano-SiO₂, y menor actividad de la PPO. - Mayor efecto antimicrobiano, en particular con CH/N/Nano-SiO₂. 	<p>(Eldib, Khojah, Elhakem, Benajiba, & Helal, 2020)</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1) Alginato al 2% m/v y <i>Lactobacillus rhamnosus</i> CECT 8361 (LR). 2) Alginato al 2% e inulina-oligofruktosa 1:1 (8% m/v de cada uno). 3) Alginato al 2%, inulina-oligofruktosa 1:1 (8% m/v de cada uno) y <i>Lactobacillus rhamnosus</i> CECT 8361. 	<p>5°C durante 21 días.</p>	<p>Comparando los 3 tratamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El agregado de prebióticos mejoró la viabilidad del probiótico. - Mayor puntaje sensorial para las frutas recubiertas con el agregado del probiótico y prebióticos. - Los recuentos de bacterias mesófilas, psicrófilas, hongos y levaduras se mantuvieron en niveles seguros (menores a 7 log UFC/g) en todos los tratamientos. - La incorporación de LR redujo los recuentos de <i>Listeria innocua</i> en arándanos inoculados, pero no se evidenció efecto antagónico frente a <i>E. coli</i>. 	<p>(Alvarez, Bambace, & Moreira, 2019)</p>

8. DISCUSIÓN



8 DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos en cada uno de los trabajos mencionados quedó demostrado que los RCs, al modificar el comportamiento fisiológico de las bayas, son capaces de aminorar los cambios involucrados en la maduración y en la pérdida de calidad, logrando así una mayor durabilidad de los frutos para su comercialización. En cuanto a los diferentes materiales de base y aditivos empleados, se pueden destacar diferentes aspectos que se mencionan a continuación.

8.1 MATERIAL DE BASE PARA LA FORMULACIÓN DE RCs

Entre los materiales encontrados que se han probado en arándanos, el quitosano y el alginato constituyen las mejores alternativas para ralentizar la maduración de estos frutos porque satisfacen la mayoría de los requisitos que se esperan de una formulación.

Respecto a la pérdida de peso, uno de los atributos más limitantes en la vida útil de estos frutos, según Chiabrando & Giacalone (2017), el quitosano tiene mejores propiedades de barrera al vapor de agua que otros hidrocoloides, por lo que la pérdida de peso que experimentan los frutos recubiertos con este es menor. No obstante, Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Gómez-Hoyos, Zuluaga-Gallego, & López-Córdoba (2020) observaron que el recubrimiento de alginato de calcio también disminuye significativamente la pérdida de peso respecto al control. Pero, al mismo tiempo, los resultados obtenidos por Mannozi, y otros (2016) contradicen estos últimos. Esto puede atribuirse a que, en este último, el RC estaba elaborado a base de alginato de sodio, es decir, no hubo entrecruzamiento con iones divalentes. Por lo tanto, como el RC formulado es soluble en agua y tiene mayor permeabilidad al vapor de agua, provoca una pérdida de peso similar a la del control.

La firmeza de los frutos, cualidad que denota frescura, está directamente relacionada con su pérdida de peso; por ello, se han observado resultados beneficiosos con ambos materiales. En particular, Chiabrando & Giacalone (2017) encontraron que, al cabo de 45 días de almacenamiento, el RC de alginato de calcio mantiene mejor la firmeza que el de quitosano. Esto puede atribuirse al efecto del CaCl_2 en los arándanos tratados con alginato, el cual, además de otorgar rigidez y resistencia mecánica a la estructura polimérica, actúa como un agente reafirmante para los tejidos del fruto. Específicamente, reacciona con el ácido poligalacturónico (pectina) de la pared celular del fruto para formar pectato de calcio (King & Bolin, 1989). Este último fortalece los enlaces moleculares entre los componentes de la pared celular, otorgándole estabilidad a las paredes celulares de las células y retrasando las alteraciones, por ende, también el ablandamiento.

El efecto de los RCs también se evaluó sobre otras propiedades fisicoquímicas como la acidez titulable y el contenido total de sólidos solubles. Respecto a la primera, los resultados de los diferentes estudios evidenciaron que el quitosano es más efectivo en mantener la acidez que el

alginato. Sin embargo, con relación al contenido de SST, en general se observaron mejores resultados para los RCs de alginato de calcio mientras que los de quitosano no mostraron diferencias significativas con el control.

El contenido de compuestos fenólicos también es una variable para tener en cuenta a la hora de evaluar la eficiencia de los RCs, considerando que se trata de los principales responsables de la mayoría de los efectos beneficiosos de los arándanos para la salud, especialmente, por su actividad antioxidante. Tanto los RCs a base de alginato como quitosano disminuyen la pérdida de compuestos fenólicos. Probablemente, esto se atribuya a la menor permeabilidad al oxígeno y, por ende, menor actividad enzimática. Pero, en este caso, establecer una generalización de cuál de los dos biomateriales es más efectivo resulta más difícil ya que los compuestos fenólicos varían mucho con el grado de maduración, las condiciones de crecimiento y cosecha y, sobre todo, la variedad del fruto.

Teniendo en cuenta la influencia del comportamiento de las antocianinas en el contenido final de compuestos fenólicos, su estabilidad a bajo pH, y considerando que los RCs a base de quitosano dan mejores resultados para mantener la acidez, se podría pensar que estos RCs son un poco más apropiados que los formulados con alginato para retener los compuestos fenólicos. Esto coincide con los resultados obtenidos en el trabajo de Chiabrando & Giacalone (2015) y en uno realizado sobre cerezas (Zam, 2019). En cambio, en lo expuesto por Chiabrando & Giacalone (2017) no se verifica lo mismo. De todas formas, la diferencia detectada no resulta significativa como para invalidar las conclusiones anteriores, por lo que podría pensarse que dicho resultado se encuentra dentro del margen de error del procedimiento, requiriéndose posteriores investigaciones en este aspecto.

Respecto a la luminosidad del fruto, la mayoría de los trabajos han demostrado que los frutos recubiertos con alginato muestran valores *L mayores que el control, mientras que cuando se utiliza quitosano ocurre la situación inversa. Asimismo, según el estudio realizado por Chiabrando & Giacalone (2015), el brillo de los frutos después de 45 días de almacenamiento es significativamente mayor en aquellos recubiertos con alginato que con quitosano. De hecho, en los primeros, los valores *L se mantuvieron prácticamente estables a lo largo de todo el almacenamiento, mientras que con quitosano se observó un descenso significativo a los 15 días. Esta diferencia puede ser explicada por Hoagland & Parris (1996) quienes reportaron que, en la etapa final de secado en la formación del RC de quitosano, la cubierta se vuelve opaca a diferencia de las de alginato, resultando en una disminución de los valores *L.

Por otro lado, las modificaciones en las propiedades de la superficie de los arándanos repercuten en la reflexión de la luz visible y, por ende, también en el brillo de los frutos. La reflexión de la luz sobre una superficie lisa como la de la fruta recubierta suele ser mayor en comparación con la reflexión sobre la piel del fruto, lo cual explica el mayor brillo de los arándanos recubiertos con alginato frente al control. Sin embargo, dependiendo del material base de

formulación y/o la incorporación de ciertos aditivos en los recubrimientos que pueden afectar las propiedades de la superficie, la reflexión de la luz varía potenciando o atenuando el brillo de los arándanos.

En cuanto al color de los frutos, los valores del ángulo de tono ($^{\circ}$ h) obtenidos demuestran que, visualmente, se percibe un color azul más intenso en las muestras de arándanos recubiertos tanto con alginato como quitosano en comparación con el control. Esto puede atribuirse a la mayor conservación de compuestos fenólicos que favorece la copigmentación. No obstante, los valores $^{\circ}$ h no fueron los mismos en todos los trabajos, lo cual puede deberse a los diferentes biopolímeros utilizados en la formulación de los recubrimientos, al grado de maduración, las condiciones de cosecha y la variedad del fruto.

A partir de lo expuesto previamente, se puede observar que existe cierta paridad en los efectos de ambos materiales sobre las diferentes propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas. Tanto el alginato como el quitosano tienen buenas propiedades de barrera contra los gases pudiendo reducir el ritmo respiratorio de los frutos y, así, mantener las características de calidad deseables postcosecha. Sin embargo, queda demostrado que, en algunos casos, es más efectivo el quitosano, y en otros, el alginato. A pesar de ello, se podría considerar que el quitosano constituye el mejor biomaterial para la elaboración de RCs dado que tiene la ventaja adicional de presentar propiedades antimicrobianas en comparación con el alginato; esto teniendo en cuenta que la incidencia de hongos constituye una de las principales causas de pudrición de los arándanos.

Con relación a los otros materiales como el pululano y la pectina, los resultados demuestran que ambos, en diferente medida, tienen potencial para extender la vida útil de los arándanos. Sin embargo, por diferentes razones, el quitosano termina prevaleciendo entre todos.

Puntualmente, respecto al pululano, a simple vista, este parecería ser el material más apropiado para la formulación de RCs teniendo en cuenta que su permeabilidad al vapor de agua es menor que la del quitosano, y que los recubrimientos que forma son transparentes. Sumado a ello, si bien no presenta actividad antimicrobiana intrínseca, esta puede compensarse con el agregado de un aditivo o, incluso, Chlebowska-Śmigiel & Gniewosz (2009) observaron que su baja permeabilidad al oxígeno puede actuar como un medio físico para la inhibición del crecimiento de microorganismos aerobios como lo son muchos de los responsables del deterioro de los alimentos. Pero, lo cierto es que más allá de estas bondades, al ser excesivamente caro, ni combinándolo con otros materiales puede acercarse al bajo costo del quitosano por su abundancia en la naturaleza.

En cuanto a la pectina, pese a lo expuesto previamente, ambos trabajos evaluados sobre arándanos partieron de pectinas de alto grado de esterificación y coincidieron en las malas propiedades de barrera frente al vapor de agua de este material. En este caso, la razón por la que el quitosano resulta más conveniente no está relacionada con costos o abundancia, sino

más bien con la permeabilidad al vapor de agua. Si bien esta no es lo suficientemente baja en los RCs a base de quitosano, aun así, es menor que en los recubrimientos formulados con pectina (Del Angel Purata, 2019). Por este motivo, y también para mejorar las propiedades mecánicas, la pectina debe emplearse en combinación con otros biomateriales o aditivos.

Por su parte, la HPMC y las carrageninas, puntualmente la κ , constituyen excelentes alternativas como material de base ya que los RCs que forman son transparentes, inoloros y, en el caso de los primeros, insípidos, por lo que no afectan las propiedades sensoriales de los frutos. Sumado a ello, la HPMC es altamente accesible ya que su precursor es el biopolímero más abundante en la naturaleza.

En cuanto a la carragenina κ , esta presenta excelentes propiedades para formar RCs capaces de retardar la pérdida de humedad, además de que, por su mecanismo de gelificación, puede contribuir a mantener la firmeza de los frutos al igual que el alginato. Sin embargo, debido a que los geles que forma son rígidos y quebradizos es fundamental el agregado de plastificantes o de algún otro aditivo que actúe como tal, o bien su combinación con otro biopolímero. Por ejemplo, se ha visto que la mezcla de carragenanos de tipo κ con goma de algarroba (Locust bean gum) origina geles con mayor elasticidad y firmeza, y menor tendencia a la sinéresis que los geles de carragenato de potasio solos (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

Con relación a las mezclas de biomateriales, tanto la combinación de cera de abeja con gel de *Aloe vera* como la de quitosano y alginato con pectina, y alginato con CNFs, obtuvieron resultados favorables, pero presentando diferentes dificultades. Por ejemplo, la cera de abeja, si bien reduce significativamente la pérdida de peso por sus buenas propiedades de barrera contra el vapor de agua, por más que sea utilizada en una baja proporción, es de los biomateriales cuyo color, sabor y aroma son más invasivos para el fruto. De allí que se considera más conveniente la combinación de hidrocoloides, como por ejemplo alginato de calcio con CNFs, con el posible agregado de aditivos, para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua. Además, la mezcla de polisacáridos como pectina con quitosano o alginato ha resultado en RCs con excelentes propiedades mecánicas.

Respecto a la utilización del gel de *Aloe vera*, esta constituye una alternativa interesante porque no produce alteraciones en las propiedades organolépticas de los frutos ni potenciales efectos nocivos en la salud, de hecho, todo lo contrario. La actividad antioxidante del gel de *Aloe*, además de reducir el estrés oxidativo del tejido vegetal y, en consecuencia, retrasar la alteración de sus procesos metabólicos, una vez ingerido, produce efectos beneficiosos en la salud humana previniendo diferentes enfermedades como las coronarias y el Parkinson, entre otras (Nicolau-Lapeña, y otros, 2020). Al mismo tiempo, la administración oral del gel contribuye a reducir las concentraciones de glucosa y colesterol en sangre en pacientes diabéticos y con hiperlipemias leves; y, por sus propiedades antiinflamatorias, alivia diversas afecciones inflamatorias articulares como la artritis (Tránsito López Luengo, 2004). Sumado a ello, el gel, como fuente de

micronutrientes esenciales y otros componentes activos, proporciona diversos nutrientes adicionales a los propios de los arándanos.

Considerando los beneficios del quitosano y el gel de *Aloe*, una variante con buen potencial podría ser la combinación de estos. Puntualmente, Khoshgozaran-Abras, Azizi, Hamidy, & Bagheripoor-Fallah (2012) determinaron que el gel en una proporción del 20% en mezclas con quitosano permite obtener recubrimientos con la tenacidad y flexibilidad adecuada. A su vez, también disminuye la permeabilidad al vapor de agua y la solubilidad en agua de los RCs de quitosano producto de las interacciones entre este y los componentes contenidos en el gel, que reducen la disponibilidad de los grupos hidrófilos. En realidad, esta disminución es significativa cuando el gel se adiciona en una proporción del 50%; pero, lo cierto es que en dicho porcentaje se ve impedida la formación del recubrimiento, posiblemente, debido al alto contenido de humedad del gel. Esto considerando que la humedad es un plastificante eficaz y en grandes proporciones puede reducir significativamente la viscosidad de la solución. Sumado a ello, según dicho estudio, altas proporciones del gel generan efectos negativos en las propiedades mecánicas y ópticas del recubrimiento, volviéndolos más oscuros (amarronados) por la posible presencia de antraquinonas, procedentes de la corteza, que son susceptibles de oxidación por la luz y el aire.

Si bien se esperaría que, en combinación con el quitosano, el efecto antimicrobiano se potencie como ocurre con la mezcla de quitosano y acíbar, los resultados obtenidos por Manoj, Sreenivas, Shankarappa, & Krishna (2016) evidenciaron que el gel o el quitosano por sí solos son más eficientes. De todos modos, este comportamiento no descarta la implementación de esta alternativa considerando los numerosos efectos beneficiosos del gel de *Aloe* en la salud. Además, Magalhães Vieira (2014) demostró que esta combinación contribuye a retener la AT y a mantener la estabilidad de las antocianinas por la naturaleza antioxidante del gel, lo cual, en consecuencia, favorece la conservación del color de las bayas.

8.2 ADITIVOS

Los aceites esenciales o sus componentes tienen un alto potencial como aditivos naturales de los RCs, principalmente, por sus conocidas propiedades antimicrobianas contra microorganismos de descomposición, patógenos de postcosecha y patógenos transmitidos por los alimentos. Además, al reducir las poblaciones microbianas en los frutos, también decrecen las enzimas pectinasas que son sintetizadas por ellos. En consecuencia, la adición de estos en la formulación de RCs disminuye la degradación de pectina manteniendo la firmeza de los frutos (Sun, y otros, 2014). A su vez, según dichos autores, la firmeza de los frutos también se conserva gracias al carácter hidrofóbico de los AEs y sus componentes que mejora las propiedades de barrera contra la humedad, disminuyendo la pérdida de peso. Esto permite contrarrestar la alta permeabilidad al vapor de agua que tienen los RCs a base de hidrocoloides, una de las

principales desventajas que limita su aplicación, y los convierte en aditivos de gran interés en la industria alimentaria.

Estos efectos se observaron en arándanos recubiertos con RCs elaborados tanto a base de alginato y CVR en concentraciones de 0.03%, 0.06%, y 0.09%, como en otros formulados a partir de quitosano adicionado con CVR y ECIN en concentraciones $\geq 0.1\%$ y $\geq 0.2\%$, respectivamente (Medina-Jaramillo, Quintero-Pimiento, Díaz-Díaz, Goyanes, & López-Córdoba, 2020; Sun, y otros, 2014). Puntualmente, la mezcla de alginato con CVR, independientemente de la concentración de este último, si bien redujo notablemente la pérdida de peso, no exhibió diferencias frente al RC de alginato respecto a las propiedades de barrera al vapor de agua; de hecho, todos los recubrimientos mostraron una alta resistencia al agua. No obstante, en dicho trabajo, sí se observaron diferencias significativas con el RC de alginato en cuanto al recuento de bacterias y hongos utilizando 0.09% de CVR, lo cual es congruente con el otro trabajo considerando que esta concentración se encuentra muy próxima a la concentración efectiva ($\geq 0.1\%$).

A pesar de que la proporción necesaria del componente bioactivo para evidenciar el efecto antimicrobiano fue menor en el estudio con alginato de calcio, Peretto, y otros (2014) plantearon que la estructura de “caja de huevos” propia del gel de alginato de calcio dificulta la liberación del componente bioactivo por su bajo peso molecular, afectando así su capacidad antimicrobiana. Es entonces que, sobre la base de este comportamiento, se podría pensar que el quitosano constituye un agente de recubrimiento más apropiado para actuar como vehículo de los AEs o sus componentes.

Por otro lado, la adición directa de AEs en los RCs, si bien contribuye al contenido total de polifenoles de los arándanos, presenta ciertas desventajas. Por un lado, las concentraciones necesarias para lograr resultados efectivos deben ser elevadas y, si bien la mayoría están categorizados como sustancias GRAS, eso implica una potencial toxicidad (Sánchez-González, Vargas, González-Martínez, Chiralt, & Cháfer, 2011). Además, en dichas proporciones, por su fuerte olor y sabor, se ven afectadas las propiedades sensoriales de los frutos, lo que se convierte en uno de los principales factores que limita su aplicación en alimentos (Donsì & Ferrari, 2016). Sumado a ello, son materias primas que, por su naturaleza lipídica, engrasan la superficie del fruto y pueden ocasionar efectos negativos en las propiedades mecánicas y ópticas de los RCs que perjudican su funcionalidad y aceptabilidad por parte de los consumidores.

Específicamente, Sánchez-González, Vargas, González-Martínez, Chiralt, & Cháfer (2011) reportaron que los AEs o sus componentes en altas proporciones provocan una disminución significativa en el brillo, la transparencia, la resistencia a la tracción y la elongación de los RCs. Según dichos autores, el agregado de una fase dispersa oleosa provoca discontinuidades estructurales en la red polimérica que son responsables de las alteraciones observadas en las propiedades mecánicas. Asimismo, las gotitas de lípidos distribuidas por toda la red polimérica

dispersan la luz con un índice de refracción diferente provocando opacidad en los RCs. Por su parte, la variación en el brillo está vinculada con la morfología superficial del recubrimiento. Al agregar AEs, aumenta la rugosidad superficial de estos debido a la migración de gotitas o agregados a la parte superior durante el secado, afectando así la reflexión de la luz.

A pesar de las desventajas, su incorporación tiene un efecto positivo en la extensión de la vida útil de los frutos. Perdonés, Sánchez-González, Chiralt, & Vargas (2012) demostraron que favorecen el descenso de la tasa de respiración de los frutos dado que mejoran la adherencia de los RCs a la superficie del fruto. Igualmente, su implementación directa se ve limitada porque los AEs son inestables. Esto implica que, durante el almacenamiento, tienden a volatilizarse y/o reaccionar con factores externos (oxígeno, luz, humedad y calor) y otros componentes de los alimentos, perdiendo su funcionalidad y, como consecuencia, provocando un aumento en la intensidad de los procesos fisiológicos que experimentan los frutos postcosecha.

Una alternativa para evitar su inestabilidad es encapsularlos formando nanoemulsiones (Acevedo-Fani, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2017). Estas son dispersiones coloidales formadas por dos fases inmiscibles estabilizadas por un emulsificante: una fase dispersa formada por gotitas de aceite de diámetro en el rango de 20 a 200 nm, y una continua que incluye el material base del RC. Entre las principales ventajas que conllevan, minimizan el impacto de los AEs y sus componentes en las propiedades organolépticas del fruto, y mejoran el rendimiento de dichas sustancias activas dentro del RC, lo que brinda la posibilidad de mejorar la calidad y/o el valor nutricional de los productos contribuyendo a la implementación de estos en aplicaciones alimentarias.

Las nanoemulsiones se diferencian de las emulsiones convencionales exclusivamente por el tamaño de gota. El hecho de que este sea tan pequeño le confiere estabilidad cinética al sistema evitando la separación gravitacional, la floculación y/o la coalescencia. Esto se explica a partir de que, al disminuir el diámetro de las gotitas de aceite, el movimiento browniano supera las bajas fuerzas gravitacionales ofreciendo mayor resistencia a la agregación de partículas, sumado a que las fuerzas de atracción neta entre las gotitas disminuyen (Sagalowicz & Leser, 2010; Acevedo-Fani, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2017; Donsì & Ferrari, 2016). En consecuencia, también le otorgan mayor homogeneidad a los RCs, lo cual favorece la reflexión de la luz y, por ende, produce un efecto beneficioso en el brillo de los frutos. A su vez, a diferencia de las emulsiones convencionales, estas pueden ser ópticamente transparentes o sólo ligeramente turbias dado que las gotas de tamaño nanométrico, como se encuentran por debajo de la longitud de onda de la luz, no dispersan la luz con fuerza (Donsì & Ferrari, 2016). De esta forma, la implementación de esta tecnología protege las propiedades ópticas de los RCs para evitar alteraciones significativas en la apariencia de los frutos.

Asimismo, las nanoemulsiones, además de estabilizar físicamente los AEs o sus componentes en situaciones de estrés, reducen la interacción entre los bioactivos lipofílicos

administrados y otros componentes de la matriz alimentaria, y potencian la actividad antimicrobiana de estos (Donsì, Annunziata, Vincensi, & Ferrari, 2012). Esto último, según dichos autores, depende en gran medida de la formulación de las nanoemulsiones dado que la actividad antimicrobiana está correlacionada con la concentración de las moléculas activas en la fase acuosa. Particularmente, la encapsulación de los AEs en micelas de tensioactivos incrementa la concentración de estos en la fase acuosa muy por encima de su solubilidad en agua. Esto permite que su concentración se mantenga constante durante un período de tiempo más prolongado y que su dispersión sobre la superficie del alimento se facilite. Naturalmente, en consecuencia, aumenta su biodisponibilidad y se acentúa su interacción con las células patógenas, lo cual también permite reducir la concentración necesaria de estos aditivos para obtener resultados favorables (Donsì & Ferrari, 2016).

La elección del AE o componente de estos debe ser criteriosa y de acuerdo con las propiedades del fruto, evaluando ventajas y desventajas intrínsecas de cada uno de los activos más allá de la vía de administración y la concentración empleada, de forma tal de minimizar el impacto en las propiedades organolépticas y oponerse eficazmente a la flora endógena nativa. Por ejemplo, entre el CVR y ECIN, el primero, por su naturaleza fenólica, es capaz de promover las antocianinas totales y los compuestos fenólicos totales y, en consecuencia, mejorar la resistencia de los tejidos del arándano al daño oxidativo (Wang, Wang, & Chen, 2008). Sumado a ello, dichos autores hallaron que, si bien ambos retrasan el crecimiento de hongos, el CVR es más eficaz y, además, aumenta significativamente los niveles de fructosa, glucosa y ácido cítrico en los frutos, contribuyendo a una mejor calidad de estos. Sin embargo, en el análisis sensorial de un estudio realizado sobre peras, se registraron aromas extraños ajenos a la fruta en el tratamiento con CVR y no así con ECIN (Cirilo Roiz, 2015), lo cual es predecible considerando el olor intenso de este componente.

Por más que la adición de AEs o alguno de sus componentes no satisfaga completamente todos los parámetros evaluados, los resultados obtenidos son mejores que con solo recubrimientos de quitosano. Esto mismo ocurre con la incorporación de NPs que proporcionan RCs que son significativamente más eficientes para mantener la calidad y composición nutricional de los arándanos. No obstante, en este caso, pese a que las NPs son aditivos más económicos que los otros, su potencial toxicidad, naturaleza inorgánica e impopularidad puede generar cierta reticencia en los consumidores por la seguridad y los efectos a largo plazo en la salud humana.

Considerando las NPs-TiO₂, desde el punto de vista de las propiedades sensoriales de los frutos, tanto la adición de estas como de AEs o sus componentes genera efectos negativos. De todos modos, se puede pensar que estas se ven más afectadas con la adición de los segundos porque estos comprometen el olor, sabor y aspecto visual de los frutos, mientras que la incorporación de NPs-TiO₂ compromete mayormente las propiedades ópticas de los recubrimientos. Por otra parte, en lo que respecta a las propiedades antimicrobianas, a diferencia

de lo que ocurre con la adición de AEs o sus componentes, la incorporación de NPs-TiO₂ no siempre demostró efectos positivos.

Sorpresivamente, Rokayya, y otros (2020) y Li, y otros (2021) no observaron diferencias significativas en cuanto a la actividad antimicrobiana entre los recubrimientos de quitosano y los de quitosano con NPs-TiO₂, pese al demostrado potencial de este dióxido para optimizar dicho efecto de los RCs de quitosano. Contrariamente, los resultados obtenidos por Xing, y otros (2021) sí evidenciaron mejoras en los recubrimientos compuestos respecto del otro, lo cual puede atribuirse a las diferentes condiciones de almacenamiento y a la naturaleza de las NPs-TiO₂. A diferencia de los otros dos trabajos, en este último, las nanopartículas utilizadas fueron modificadas con lauril sulfato de sodio (LSS). Esta modificación de la superficie de las NPs con un surfactante disminuye considerablemente la alta tendencia a formar aglomerados de las NPs-TiO₂ y, en consecuencia, mejora la dispersión de éstas en la matriz (Wu, y otros, 2018). Por ende, incrementa su interacción con las células patógenas, exhibiendo mayor actividad antimicrobiana.

En el caso de RCs de quitosano combinando NPs-TiO₂ y timol, estos sí registraron un incremento en la actividad antimicrobiana, lo cual puede explicarse por el impacto que genera el surfactante que se agrega junto con el timol, y el efecto aditivo que se produce al combinar tres compuestos con esta propiedad (Rokayya, y otros, 2020). Sin embargo, lo cierto es que esta no es una alternativa muy prometedora porque, así como se aprovechan las ventajas de cada uno de los aditivos, en vez de minimizarse las desventajas, se realzan. Esto significa que, por más que las propiedades ópticas de estos recubrimientos aún no hayan sido evaluadas, se presume que se suma la opacidad y coloración blanquecina de los recubrimientos, propia de la incorporación de NPs-TiO₂, al olor y sabor característico que aporta el timol, resultando en RCs inaceptables por parte del consumidor.

Respecto a los RCs conteniendo NPs-SiO₂, ambos fueron capaces de preservar los arándanos, solo que en algunos parámetros fue más eficiente uno que el otro. Por ejemplo, como era de esperarse, la actividad antimicrobiana se vio favorecida considerablemente con el agregado de nisina, mientras que el brillo de estos recubrimientos fue menor que el de solo NPs-SiO₂. Esto, probablemente, se deba a la presencia de un componente más en la matriz que puede causar algunos cambios en las propiedades de la superficie y por ende afectar la reflexión de la luz.

Estas NPs, a diferencia de las NPs-TiO₂, no tienen potencial toxicidad ni generan grandes trastornos en las propiedades sensoriales de los frutos ni las ópticas de los recubrimientos. Sin embargo, su utilización no está tan difundida. Esto se debe, por un lado, a que las otras tienen propiedades antimicrobianas intrínsecas, aunque los resultados demuestran que eso no es garantía de un efecto positivo; y, por otro lado, a que los RCs que contienen NPs-TiO₂ han

exhibido mayor eficiencia para mantener la mayoría de los parámetros de calidad de los arándanos (Li, y otros, 2021).

Por su parte, las procianidinas, al igual que todos los aditivos, tienen puntos a favor y en contra. Por un lado, su incorporación en los RCs actúa como plastificante, mejorando las propiedades mecánicas de estos (Ramziia, Ma, Yao, Wei, & Huang, 2017); pero, al mismo tiempo, por su naturaleza hidrofílica, no son capaces de reducir la permeabilidad al vapor de agua de los RCs a base de hidrocoloides. Por otro lado, si bien mejoran el valor nutricional de las bayas aportando compuestos altamente antioxidantes, al igual que los AEs, dependiendo de la concentración empleada, pueden, en cierto modo, afectar las propiedades organolépticas de los frutos debido a sus características intrínsecas. Igualmente, al margen de la concentración, las posibles afecciones, sobre todo en cuanto al sabor, pueden minimizarse utilizando procianidinas de tipo A que son las que naturalmente forman parte de la composición de los arándanos, contribuyendo al sabor dulce acidulado característico de estos.

En cuanto al EEP, su incorporación en la formulación de RCs mejora las propiedades de barrera al vapor de agua y las propiedades mecánicas de estos porque actúa como un agente plastificante, aumentando su elongación (Yong & Liu, 2021). Según dichos autores, la menor permeabilidad al vapor de agua se atribuye a la hidrofobicidad del EEP, a una disminución de los espacios vacíos en la matriz por el agregado de este, y a una menor higroscopicidad del recubrimiento debido a las interacciones que tienen lugar entre el biopolímero y los compuestos polifenólicos del extracto. Por otro lado, el EEP también ha demostrado alta acción antifúngica contra tres hongos comunes de postcosecha como *P. digitatum*, *B. cinérea* y *Colletotrichum* spp. (Moreno, y otros, 2020; Pobiega, Kraśniewska, & Gniewosz, 2019; Ali, Wei, & Mustafa, 2014). Asimismo, este aditivo combinado con biopolímeros es capaz de reducir el aumento de SST y la disminución de la AT; por lo tanto, retrasa la maduración eficazmente (Yong & Liu, 2021; Pobiega, Igielska, Włodarczyk, & Gniewosz, 2020).

Sin embargo, pese a estas ventajas y su nula toxicidad, su utilización como conservante natural en RCs se ve definitivamente limitada por su sabor y olor muy intensos (Pobiega, Kraśniewska, & Gniewosz, 2019), y por afectar negativamente las propiedades ópticas de los RCs, impartiendo color y menor transparencia (Moreno, y otros, 2020). Además, su composición química variable representa una dificultad para su utilización a nivel industrial porque requiere de una estandarización previa, al margen de que es muy complejo seleccionar la dosis apropiada para que no solo sea eficaz, sino que también las propiedades sensoriales del fruto se alteren lo menos posible (Pobiega, Kraśniewska, & Gniewosz, 2019). En este sentido, una posibilidad para enmascarar un poco el sabor y olor del EEP, e incluso estabilizarlo ante la posibilidad de aglomeraciones cuando su contenido es alto, puede ser encapsularlo (Yong & Liu, 2021).

Lo cierto es que, más allá de sus limitaciones, indudablemente, los AEs, las procianidinas y el EEP representan los aditivos más interesantes para la conservación de alimentos porque,

además de contribuir a mantener los atributos de calidad de los arándanos, aportan compuestos bioactivos que promueven la buena salud del consumidor. Entre estos aditivos, las procianidinas, por más que sean de los 3 las de menor potencia antimicrobiana, tienen un valor agregado que tiene que ver con su fuente de obtención: son particularmente abundantes en subproductos de procesos industriales como la vinificación y la fabricación de sidra y jugo de manzana. Por lo tanto, darles un uso a estos, consecuentemente, minimiza los residuos de la industria alimentaria y la contaminación ambiental, dos problemáticas que requieren de inmediata acción.

En lo que respecta a la nisina, su incorporación en los RCs tiene como única finalidad potenciar las propiedades antimicrobianas de estos. Esto hace que, existiendo otras tantas alternativas que además de ejercer actividad antimicrobiana proporcionan componentes nutricionales, su uso no se vea del todo justificado. Más importante aún, si bien esta bacteriocina está aprobada por la OMS, la FDA no ha aprobado su uso en productos agrícolas frescos. Además, el consumo innecesario de antibióticos favorece la farmacorresistencia de las bacterias patógenas a los antibióticos utilizados como medicamentos en humanos. De hecho, desde las últimas décadas, la resistencia a los antibióticos se ha convertido en un problema que va en aumento afectando a toda la cadena ecológica hasta llegar al hombre (Torrades, 2001). Por ello, teniendo en cuenta el propósito de desarrollar RCs inocuos y amigables con el medioambiente, por más que la nisina sea un agente natural y no afecte el sabor y aroma de los frutos, la incorporación de antibióticos como aditivo no es recomendable.

En tanto a los pre- y probióticos, su incorporación en RCs resulta atractiva como una alternativa innovadora para atender las necesidades de consumidores veganos y/o intolerantes a la lactosa. Específicamente, los RCs enriquecidos con prebióticos tienen alto potencial para vehicular y mantener la viabilidad de un probiótico, lo cual representa un aporte muy valioso para potenciar el aporte nutricional del fruto y desarrollar alimentos funcionales no-lácteos. Por otro lado, a su vez, los probióticos, además de presentar efectos beneficiosos para la salud, han demostrado acción antibacteriana contra ciertas bacterias como *L. monocytogenes*. Por lo tanto, también son útiles para conservar los arándanos sin provocar alteraciones en las características sensoriales.

Por su parte, el exudado de *Aloe vera* en mezcla con el quitosano da buenos resultados para prolongar la vida útil de los arándanos, mejorando incluso, en algunos parámetros, los resultados obtenidos con solo quitosano. Específicamente, se pueden distinguir dos principales mejoras: la reducción en la pérdida de peso de los frutos por debajo de la alcanzada con quitosano, y la inhibición y el retraso del crecimiento microbiano, otorgándole mayor seguridad a los arándanos. Esto último expone que, si bien el gel de *Aloe* y el acíbar presentan propiedades antimicrobianas, este último es más efectivo, probablemente debido a su composición mucho más rica en compuestos fenólicos y antraquinonas (Vieira, y otros, 2016). Respecto a la primera mejora, esta puede atribuirse a la presencia de compuestos de naturaleza hidrofóbica en el acíbar, como el antraceno, producto de la degradación de los derivados hidroxiantracénicos.

Pese a que esta combinación potencia las propiedades antimicrobianas, tiene asociada dos grandes desventajas que limitan su implementación en formulaciones de RCs: una relacionada con la toxicidad del acíbar y la otra con sus propiedades sensoriales. Puntualmente, su color y gusto amargo afectan negativamente las propiedades organolépticas de los arándanos. En cuanto a la primera desventaja, su alto contenido en aloína limita considerablemente su uso en alimentos porque, como se mencionó anteriormente, los derivados hidroxiantracénicos son considerados genotóxicos y carcinógenos (Scientific Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food, 2018). Es por ello por lo que, de acuerdo con lo establecido en el Código Alimentario Argentino (2021a; 2021b), puntualmente la aloína, puede estar presente en los alimentos en una concentración máxima igual a 0.1 mg/kg, y su consumo no está recomendado para ciertos subgrupos de la población, los cuales deben estar debidamente indicados en el rótulo de los alimentos que contengan extractos de *Aloe*. Por lo tanto, no es aconsejable la utilización del acíbar porque estas restricciones podrían influir en la predisposición a consumir arándanos.

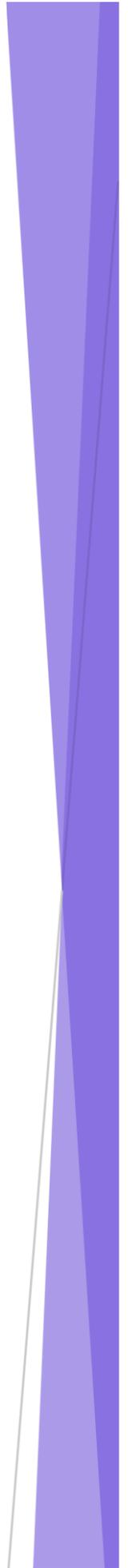
8.3 VIABILIDAD

Los resultados expuestos en este trabajo permiten establecer que, en promedio, los RCs son capaces de extender 5 días la calidad de los arándanos en condiciones de refrigeración, lo cual tiene un valor comercial significativo. No obstante, considerando todas las variantes y beneficios de la implementación de esta tecnología, la principal inquietud que surge es por qué aún su utilización no está tan difundida a escala comercial.

La razón de esto no tiene que ver precisamente con un tema económico. Si bien esta tecnología postcosecha tiene un alto costo comparado con otras, se ha visto que muchas de las materias primas pueden obtenerse de desechos agrícolas y residuos de alimentos, que conforman una fuente económica y sostenible. De acuerdo con Kerbel (2021), la principal limitación de su escalado pasa principalmente por la dificultad en que la cobertura sea uniforme y consistente en todos los arándanos de un mismo lote. Detalladamente, esto significa que, debido a las variaciones en la superficie de los frutos (cortes, raspones, cicatrices, etc.) y la forma en la que estos rotan al momento de recibir la aplicación, que suele ser por pulverización, puede que queden áreas sin recubrirse y otras recubiertas con mayor espesor. Al mismo tiempo, tanto la temperatura como la humedad afectan en qué tan uniforme permanece el recubrimiento en toda la superficie de la fruta.

Esta disparidad entre unas bayas y otras hace que el recubrimiento proteja más a unas que otras, por lo que el lote que llega a destino no tiene calidad ni condición uniforme. Esto considerando que las menos o no protegidas empiezan a madurar y/o deteriorarse en tránsito. Por este motivo, en la actualidad, la tecnología postcosecha más utilizada en la industria es la atmósfera controlada en contenedor, ya que empareja la condición del lote.

9. PROPUESTAS



9 PROPUESTAS

Para alcanzar la implementación de RCs en arándanos a nivel industrial, el principal reto a sortear es su aplicación. Para ello, es necesario llevar a cabo investigaciones científicas y estudios prácticos que aborden diferentes métodos de aplicación hasta encontrar una alternativa que permita lograr recubrimientos uniformes en superficies irregulares y en toda una carga. A la vez, dicho método debe proteger los frutos de daños físicos durante la aplicación del recubrimiento, proporcionando al mismo tiempo la adherencia y la durabilidad necesarias, y evitar la pérdida de humedad y la deshidratación de la superficie durante el secado después de su aplicación.

Considerando estos requerimientos, en este trabajo se sugiere la implementación de la pulverización electrostática como método de aplicación de las soluciones formuladoras de RCs. Se trata de una tecnología electro-hidrodinámica para atomizar líquidos, es decir, consiste en la emisión de múltiples gotas submicrométricas altamente cargadas conocidas como electrospray. Este último se genera al aplicar una diferencia de potencial mayor a la tensión superficial de la solución precursora entre el capilar metálico que la contiene y un electrodo extractor. Al superar dicho umbral, la superficie libre del líquido en la punta del emisor adopta la forma de un cono, denominado cono de Taylor, que emite desde su punta un delgado chorro o jet que aguas abajo, debido a la inestabilidad capilar, se rompe generando el aerosol de gotas cargadas.

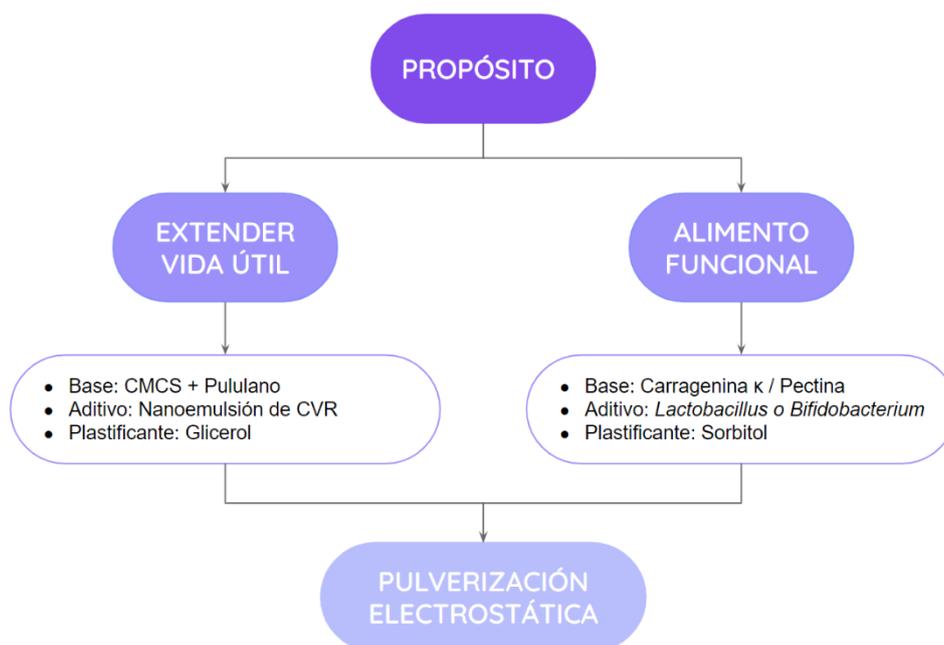
El mayor potencial de esta técnica radica en la mayor eficiencia de transferencia (80 - 90%) (Jaworek & Sobczyk, 2008) respecto a la metodología convencional de pulverización. Esto significa que es mayor la cantidad de material que llega a la superficie objetivo en comparación con la parte del material que se pierde en el entorno. Esto se atribuye, principalmente, al tamaño micrométrico y a la carga eléctrica de las gotas.

Las microgotas cargadas, no solo se repelen evitando la coalescencia, sino que también son guiadas por medio de un campo eléctrico a la superficie donde se depositan y liberan su carga. En este contexto, las microgotas, en busca de su estabilización, se depositan en todos los lados de la superficie del objetivo, lo que se conoce como efecto envolvente. Este fenómeno permite la formación de un recubrimiento uniforme en todo el fruto en menor tiempo, superando así los problemas habituales de distribución desigual y escasa cobertura de la superficie que se obtienen con el tratamiento de pulverización convencional. Además, el tamaño micrométrico de las gotas permite rellenar por completo los huecos y las grietas, evitando que queden áreas sin recubrir.

Dicho efecto envolvente depende de la relación carga-masa y la conductividad de la superficie objetivo. En cuanto a la primera, esta debe ser lo suficientemente alta para evitar que las gotas experimenten más fuerzas gravitacionales y caigan cubriendo parcialmente la superficie del fruto. Por su parte, la superficie a recubrir debe tener alta conductividad para favorecer la electrodeposición y evitar la acumulación de carga que produce la deposición de más material en unas áreas que en otras. Si la superficie fuera aislante, las gotas no liberarían su carga y

repelerían las gotas entrantes provocando así la pérdida de material y una cobertura incompleta. Puntualmente, los arándanos representan un buen blanco porque entran en la categoría de materiales conductores debido a la humedad.

A continuación, se presenta un diagrama con dos alternativas de trabajo distintas dependiendo del propósito de comercialización; es decir, si este es netamente para extender la vida útil del fruto porque van a ser destinados a exportación, o bien si el objetivo es desarrollar un alimento funcional destinado para satisfacer específicamente a un sector de la población.



Para lograr resultados satisfactorios es fundamental escoger la formulación que mejor se adapte a la finalidad del RC. Puntualmente, en este trabajo, se propone evaluar RCs formulados a partir de una nanoemulsión de CVR en carboximetil quitosano (CMCS) y pululano cuando se busca principalmente extender la vida útil del fruto, y una de probióticos en carragenina κ o pectina cuando se pretende favorecer la salud del consumidor. Estas combinaciones se escogieron teniendo en cuenta los requerimientos de una solución formuladora de RCs, y las ventajas y desventajas de los distintos componentes previamente analizados. En ambos casos, se sugiere la aplicación por medio de electrospray ya que permite formar la nanoemulsión en el mismo sistema de aplicación, disminuyendo así los pasos de procesamiento. Esto representa un valor agregado en vistas de escalar la implementación de RCs a nivel industrial ya que incrementa la productividad y reduce los costos operativos.

La fórmula del recubrimiento es altamente determinante en el comportamiento del electrospray. Específicamente, su conductividad eléctrica y viscosidad son las propiedades más influyentes. La primera, determina la cantidad de carga que el líquido puede adquirir al pasar por la boquilla, por lo que, si el material es conductor, se carga rápidamente y da lugar a gotas más

pequeñas (nano o micrométricas) con tamaños uniformes. Por su parte, una baja viscosidad de las dispersiones favorece el deseado efecto envolvente y reduce los tiempos del recubrimiento cuando se preparan a altos niveles de sólidos.

En el caso de la primera formulación, se considera el CMCS porque, a diferencia del quitosano, es soluble en agua. Esto permite utilizar agua como solvente, lo cual simplifica y economiza la preparación de la solución formuladora. Químicamente, el CMCS es un derivado anfótero del quitosano que se obtiene por alquilación directa con ácido monocloroacético. Debido a la introducción de grupos carboximetilo, en comparación con el quitosano, no solo mejora la solubilidad en agua, sino que también su biocompatibilidad, biodegradabilidad, su actividad biológica y sus propiedades mecánicas, por lo que sus ventajas son aún mayores. Respecto a estas últimas, adquieren mejor flexibilidad y elongación ya que la alquilación reduce la temperatura de transición vítrea. No obstante, su alta hidrofiliidad limita su aplicación en forma purificada; por ello, se propone en combinación con pululano en partes iguales.

Respecto al pululano, cabe resaltar que, pese a lo expuesto previamente sobre su excesivo costo, en esta oportunidad se considera como posible opción principalmente porque, además de utilizarse en combinación con otro biopolímero, la pulverización electrostática consigue reducir significativamente la cantidad de biopolímero necesaria para la formación del recubrimiento ya que minimiza la cantidad de material de recubrimiento que se desperdicia. De esta forma, la implementación de esta tecnología proporciona la posibilidad de aprovechar componentes que de otra forma no podrían tenerse en consideración.

A partir de la mezcla de estos polisacáridos, se puede esperar que se produzcan interacciones intermoleculares mediante puente de hidrógeno entre el grupo carboxilo del CMCS y el grupo hidroxilo del pululano, dando lugar a una red más densa que reduzca la permeabilidad al vapor de agua y los gases, además de constituir a recubrimientos más fuertes, estables, flexibles y con mayor resistencia a la tensión. En cuanto al CVR, su presencia también contribuye a optimizar las propiedades del RC, sobre todo por su naturaleza hidrofóbica, además de aportar excelentes propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

Por otro lado, los probióticos, para promover los efectos beneficiosos, deben sobrevivir la exposición a los factores ambientales y ser capaces de colonizar y mantener la actividad metabólica en el tracto intestinal humano. Por ello, una estrategia para protegerlos de las condiciones adversas y mantener su viabilidad y estabilidad es encapsularlos al igual que los AEs o sus componentes. Existen diferentes métodos de encapsulación tanto fisicoquímicos como mecánicos, pero puntualmente en este caso se propone un sistema emulsionado utilizando hidrocoloides conocido como gelificación interna iónica.

La selección de carragenina κ o pectina de bajo metoxilo como material de base para la formulación de los RCs enriquecidos con probióticos se basa en su similitud en el mecanismo de gelificación con el alginato que ya ha demostrado ser efectivo para vehiculizar estos aditivos. Así,

la carragenina o pectina constituyen el agente encapsulador y la sal, el agente solidificante. Preferentemente, es conveniente utilizar pectina ya que esta es más abundante en la naturaleza y, a su vez, puede obtenerse a partir de residuos agroindustriales. De esta forma, no solo se reducen los costos operativos, sino que también se contribuye al cuidado ambiental. Además, las pectinas proporcionan efectos beneficiosos para la salud humana.

Especialmente en esta formulación, por la naturaleza rígida y quebradiza de ambos geles, es fundamental el agregado del plastificante. Si bien en la mayoría de los trabajos presentados en esta revisión se utiliza glicerol, en esta oportunidad se propone la utilización de sorbitol ya que no solo imparte menor permeabilidad al vapor de agua que el primero, sino que también ha demostrado ser un agente protector de las células microbianas frente a la deshidratación, mejorando su viabilidad (Osorio, Molina, Matiacevich, Enrione, & Skurtys, 2011; Linders, De Jong, Meerdink, & Van't Riet, 1997).

Además de la formulación adecuada, para lograr una aplicación efectiva del recubrimiento es necesario encontrar el equipo correcto que haga la operatoria más fácil y consistente. Considerando la importancia de alcanzar una uniformidad en toda la carga, en vez de utilizarse una cinta transportadora, se recomienda un tambor de volteo para que todos los frutos estén en contacto con el aerosol en todos sus lados. No obstante, teniendo en cuenta que los arándanos son frutos endebles con alto contenido de agua, primero deben realizarse ensayos en escala piloto para determinar los parámetros claves del proceso, los cuales se listan en la Tabla 6.

Tabla 6: Parámetros de proceso para alcanzar uniformidad de cubierta.

PARÁMETROS CLAVE DEL PROCESO		DESCRIPCIÓN
TERMODINÁMICOS	Volumen de aire	Control de la evaporación del solvente.
	Tasa de aplicación	Recubrimiento aplicado sobre los frutos.
	Temperatura de aire de entrada	Energía necesaria para la evaporación del solvente y la formación de la película.
	Presión de aire de atomización	Control del tamaño de gota del aerosol.
	Voltaje aplicado	
	Características de la solución	
UNIFORMIDAD	Velocidad del tambor	Rotación para controlar el mezclado de los frutos.
	Presión de aire	Control del patrón de atomización.
	Diseño de la boquilla	
	Distancia atomizador al blanco	

En particular, el flujo de aire y la temperatura de este representan un punto clave para el secado eficiente del recubrimiento. Al tratarse de frutos cuyo deterioro se acelera exponencialmente con el aumento de temperatura, sería interesante evaluar la posibilidad de utilizar aire frío para dicho fin. En cuanto a la velocidad del tambor, este es un parámetro crítico para alcanzar la uniformidad en toda la carga. Esta debe ser lo suficientemente rápida para cubrir toda la superficie de todos los frutos con un espesor delgado, pero, a la vez, no puede ser una velocidad tal que provoque daños mecánicos en estos. Para ello, es fundamental encontrar un compromiso entre la velocidad y la dureza de los frutos que está dada por su firmeza.

Los arándanos son extremadamente delicados y climatéricos, es decir, continúan madurando fuera de la planta y, en consecuencia, se van ablandando. Por esta razón, para partir de frutos con la mayor firmeza posible, que soporten velocidades un poco más altas, una alternativa a evaluar podría ser cosechar los frutos tan solo un par de días antes, aplicar el recubrimiento inmediatamente y luego conservar refrigerado. Cabe mencionar que los frutos no deben cosecharse si aún están rojos porque, por más que sigan madurando fuera de la planta hasta alcanzar el color azul-violáceo, su calidad organoléptica será inferior.

Esta tecnología tiene asociada una gran cantidad de ventajas: es de fácil aplicación, baja energía, limita la contaminación y consiste en un solo paso. Sumado a ello, mediante la correcta parametrización del tamaño de gota y el caudal de aplicación, permite controlar el grosor del recubrimiento, que, como ya se ha mencionado, afecta directamente la funcionalidad de este. En conclusión, todas estas características, además de las previamente nombradas, hacen de la pulverización electrostática una técnica de recubrimiento eficaz y prometedora para la industria alimentaria.

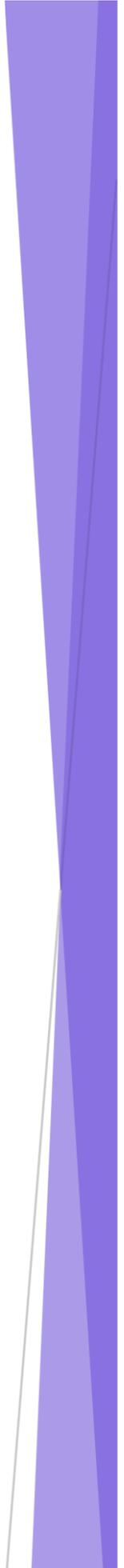
Si bien los fundamentos teóricos indican que estas formulaciones aplicadas mediante pulverización electrostática resultarían eficientes para dichos propósitos, es necesario realizar las evaluaciones fisicoquímicas, sensoriales y mecánicas de los recubrimientos para confirmar la viabilidad de su implementación. Asimismo, se deben considerar los potenciales efectos de las nanoemulsiones en la salud de los consumidores, teniendo en cuenta, sobre todo, su comportamiento gastrointestinal. De todas formas, respecto a esto último, McClements (2021) resolvió, a partir de la información recolectada, que las nanoemulsiones no suelen presentar fuertes efectos citotóxicos siempre y cuando se formulen con ingredientes de calidad alimentaria.

Por otro lado, por más que esta investigación está orientada principalmente a soluciones a escala industrial, cabe mencionar que, a nivel personal, los consumidores, mejorando sus hábitos, pueden contribuir a reducir la gran cantidad de frutos que se desperdician. Principalmente, se recomienda:

- Mantener los frutos siempre refrigerados ya que eso alarga su vida útil y mantiene la calidad del producto.

- Lavar las bayas justo antes de consumirlas y no guardarlas en la heladera húmedas ya que la humedad excesiva acelera el proceso de deterioro.
- No tirar los frutos si estos se ponen blandos porque se los puede destinar para otras aplicaciones distintas a la de consumo en fresco. Algunas aplicaciones son: hacer un jugo, smoothie, salsa, mermelada, o usar para repostería.

10. CONCLUSIÓN



10 CONCLUSIÓN

En vistas de satisfacer las expectativas y necesidades de los consumidores que buscan alimentos naturales, inocuos, beneficiosos para la salud, conservados sin el agregado de aditivos químicos artificiales y listos para comer, los recubrimientos comestibles se convirtieron en la nueva tendencia. Puntualmente, a partir de esta investigación, se puede concluir que la implementación de RCs constituye una alternativa prometedora para prolongar la vida útil y mejorar la calidad, seguridad y funcionalidad de los arándanos azules de forma sostenible.

Se ha demostrado que las propiedades y eficiencia de los RCs sobre la vida útil del fruto dependen, en gran medida, de las características del alimento, las condiciones de almacenamiento, el método de aplicación y, fundamentalmente, la composición química y estructural de los biomateriales y aditivos empleados en la formulación. Específicamente, la selección y combinación de estos determina que el RC cumpla los siguientes requerimientos:

- Aceptabilidad por parte de los consumidores.
- Capacidad de adhesión a la superficie del fruto.
- Propiedades mecánicas adecuadas para evitar roturas y/o quebraduras del material por manipulación.
- Permeabilidad selectiva ante los procesos de respiración y transpiración del fruto.
- Cualidades antimicrobianas para disminuir la incidencia de pudriciones causadas por microorganismos.
- Características organolépticas compatibles con las de los arándanos.
- Aptitud para actuar como transporte de sustancias promotoras de la salud como prebióticos, probióticos y antioxidantes.
- Estabilidad frente a las diferentes condiciones de almacenamiento.

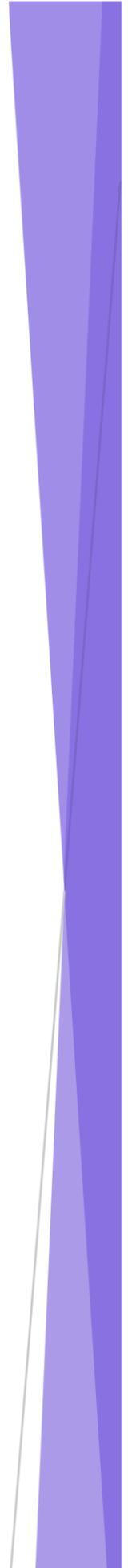
Existe una amplia variedad de biopolímeros (carbohidratos, proteínas y lípidos) y aditivos capaces de retrasar en mayor o menor medida el deterioro de los arándanos azules, y proveer propiedades nutricionales. Particularmente, entre todos los considerados en este trabajo, el uso de AEs o sus componentes como agentes antimicrobianos y conservantes mediante nanoemulsiones sin duda constituye una opción con alto potencial para sustituir los aditivos sintéticos y antibióticos. Por su parte, la incorporación de pre- y probióticos representan la última tendencia para desarrollar alimentos funcionales.

Esta tecnología postcosecha no solo tiene un efecto positivo en la extensión de la vida útil de los productos agrícolas frescos, sino que también brinda la posibilidad de mejorar la calidad y/o el valor nutricional de los productos alimenticios. Asimismo, contribuye a minimizar el desperdicio de alimentos y reducir los desechos alimenticios dado que muchos de los componentes empleados en las formulaciones pueden obtenerse a partir de estos. A su vez, si bien no

sustituyen a un envase externo, los RCs también disminuyen el uso de envolturas plásticas de origen petroquímico ya que los frutos recubiertos requieren de embalajes más sencillos.

No obstante, en lo que se refiere a los arándanos, aún presenta limitaciones relacionadas con su aplicación sobre los frutos que han limitado su implementación a escala industrial. A raíz de esto, se propone evaluar la posibilidad de utilizar la pulverización electrostática como técnica de aplicación del revestimiento para lograr recubrimientos delgados y uniformes en todo un lote.

11. BIBLIOGRAFÍA



11 BIBLIOGRAFÍA

- Abitbol, T., Rivkin, A., Cao, Y., Nevo, Y., Abraham, E., Ben-Shalom, T., . . . Shoseyov, O. (2016). Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. (M. A. Nash, & O. Shoseyov, Edits.) *Current Opinion in Biotechnology*, 39, 76–88. doi:10.1016/j.copbio.2016.01.002
- Acevedo-Fani, A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2017). Nanoemulsions as edible coatings. *Current Opinion in Food Science*, 15, 43–49. doi:10.1016/j.cofs.2017.06.002
- Aday, M. S., & Caner, C. (2010). Understanding the Effects of Various Edible Coatings on the Storability of Fresh Cherry. *Packaging Technology and Science*, 23, 441–456. doi:10.1002/pts.910
- AgriCoat NatureSeal. (s.f.). *Semperfresh*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://www.agriccoat.co.uk/industries/processors/semperfresh/>
- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 837–842. doi:10.1016/j.lwt.2010.01.021
- Ali, A., Wei, Y. Z., & Mustafa, M. A. (2014). Exploiting Propolis as an Antimicrobial Edible Coating to Control Post-harvest Anthracnose of Bell Pepper. *Packaging Technology and Science*, 28(2), 173–179. doi:10.1002/pts.2088
- Al-Tayyar, N. A., Youssef, A. M., & Al-Hindi, R. R. (2020). Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00215>
- Alvarez, M. V., Bambace, M. F., & Moreira, M. D. (2019). Alimento funcional a partir de arándanos: Fructooligosacáridos y probióticos incorporados en recubrimientos de alginato. *CyTAL®-ALACCTA 2019: XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos - XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, (págs. 125-126). Obtenido de <https://alimentos.org.ar/wp-content/uploads/2021/02/CYTAL2019-Libro-de-Resumenes.pdf>
- Amiel, S. A., & Dalton, M. I. (2020). *Comercio exterior. Vol. 5, nº 4. Complejos exportadores*. Técnico, Instituto Nacional de Estadística y Censos, Buenos Aires. Obtenido de https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/complejos_03_21311B84F340.pdf
- Andrade, R. D., Skurtys, O., & Osorio, F. A. (2012). Atomizing Spray Systems for Application of Edible Coatings. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 323-337. doi:10.1111/j.1541-4337.2012.00186.x
- Andueza, I., Ávila, G., & Attias, D. (2000). Caracterización física de hidroxipropilmetilcelulosa con potencial aplicación oftalmológica: pH, tensión superficial, característica de la película. *Revista de la Sociedad Química de México*, 44(3), 224-228. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v44n3/v44n3a9.pdf>

- Anthraco*se. (s.f.). Recuperado el 21 de noviembre de 2021, de Washington State University Whatcom County Extension:
<http://whatcom.wsu.edu/ipm/manual/blue/anthracnose.html>
- Arctic Flavours Association. (s.f.). *El Arándano Ártico – La auténtica Superfruta del Bosque*. Recuperado el 22 de noviembre de 2021, de
<https://www.arktisetaromit.fi/binary/file/-/fid/3646>
- Arnaldos Cantero, P. (2008). *Algunos aspectos matemáticos relacionados con la predicción de la calidad de frutas y hortalizas en atmósferas modificadas*. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Cartagena, Murcia, España. Obtenido de
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/282>
- Asensio García, L. (2016). *Valoración de la efectividad de la ingesta de arándano ante infección de orina en pacientes institucionalizados con sonda vesical*. (Trabajo Final de Máster) Obtenido de https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/146096/tfm_2015-16_MNAH_lag704_92.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Asociación de Productores de Arándanos de Tucumán, Salta y Catamarca. (2021). *En 2020, la exportación de arándanos cayó un 25%*. Recuperado el 13 de abril de 2021, de <https://apratuc.com.ar/en-2020-la-exportacion-de-arandanos-cayo-un-25/>
- Avenidaño-Romero, G. C., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 87-96. Obtenido de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/acym/ALGINATOS_1.pdf
- Ayala Valencia, G. (2015). *Efecto antimicrobiano del quitosano: Una revisión de la literatura*. Obtenido de *Scientia Agroalimentaria* (Vol. 2).
- Azeredo, H. M., De Britto, D., & Assis, O. B. (2010). Chitosan Edible Films and Coatings: A review. En S. P. Davis (Ed.), *Chitosan: Manufacture, Properties, and Usage*. (págs. 179-194). Ceará, Brasil: Nova Science Publishers, Inc.
- Badui Dergal, S. (1990). *Química de los Alimentos*. México, D.F.: Alhambra Mexicana.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Pujolà, M., & Sepulcre, F. (2015). *Aloe vera* as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 184–193. doi:10.1016/j.lwt.2014.11.036
- Betancur Henao, C. P., Hernández Montes, V., & Buitrago Sierra, R. (2016). Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(4), 387-402. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ibi/v35n4/ibi09416.pdf>
- BlueBerries Argentina. (s.f.a). *Arándanos*. Recuperado el 16 de abril de 2021, de <http://blueberries.com.ar/home/arandanos/>
- BlueBerries Argentina. (s.f.b). *Beneficios de los arándanos para la piel*. Recuperado el 26 de abril de 2021, de <http://blueberries.com.ar/home/2019/05/23/beneficios-de-los-arandanos-para-la-piel/>

- Blueberry*. (s.f.). Recuperado el 22 de noviembre de 2021, de Southern Living: <https://www.southernliving.com/plants/blueberry>
- Bogdanov, S. (2004). Beeswax: quality issues today. *Bee World*, 85(3), 46–50. doi:10.1080/0005772x.2004.11099623
- Börjesson, M., & Westman, G. (2015). Crystalline Nanocellulose — Preparation, Modification, and Properties. En M. Poletto, & H. L. Ornaghi Junior (Edits.), *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends*. doi:10.5772/61899
- Bruneton, J. (1993). *Farmacognosia - Fitoquímica Plantas Medicinales* (Segunda ed.). Acribia, S. A.
- Bruzzone, I. (2007). Cadenas Alimentarias: Frutas Finas - berries. *Alimentos Argentinos N°39*, 30-33. Obtenido de https://issuu.com/alimentosargentinos.gob.ar/docs/revista_aa_39/32
- Burdock, G. A. (1998). Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (Propolis). *Food and Chemical Toxicology*, 36(4), 347–363. doi:10.1016/s0278-6915(97)00145-2
- Busso Casati, C. I. (2016). *Estabilidad de polifenoles y caracterización físico-química y sensorial en pulpas de frutos rojos en relación a los procesos tecnológicos para la obtención de alimentos e ingredientes alimenticios*. Universidad de Buenos Aires; Pontificia Universidad Católica Argentina, Facultad de Farmacia y Bioquímica; Facultad de Ciencias Agrarias, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Obtenido de http://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgraafa/index/assoc/HWA_1425.dir/1425.PDF
- Byun, C., Zheng, Y., Pierce, A., Wagner, W. L., Scheller, H. V., Mohnen, D., . . . Mentzer, S. J. (2019). The Effect of Calcium on the Cohesive Strength and Flexural Properties of Low-Methoxyl Pectin Biopolymers. *Molecules*, 25(1). doi:10.3390/molecules25010075
- Calvo, G., Candan, A. P., Colodner, A., & Gomila, T. (2018). *Tecnología de poscosecha de fruta de pepita*. (Primera ed.). Río Negro: INTA Ediciones.
- Camele, I., Altieri, L., De Martino, L., De Feo, V., Mancini, E., & Rana, G. L. (2012). In vitro control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 2290–2300. doi:10.3390/ijms13022290
- Candan, A. P., Raffo, D., Gomila, T., & Colodner, A. (2017). *Pautas para el mantenimiento de la calidad de cerezas frescas*. (Primera ed.). Allen, Río Negro, Argentina: INTA Ediciones.
- Cano, L., Pollet, E., Avérous, L., & Tercjak, A. (2016). Effect of TiO₂ nanoparticles on the properties of thermoplastic chitosan-based nano-biocomposites obtained by mechanical kneading. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 93, 33–40. doi:10.1016/j.compositesa.2016.11.012
- Cano-Serna, D., Gómez-Marín, M. A., Oviedo-Gallego, V., & Ríos-Osorio, L. A. (2015). Nisina como conservante de alimentos: Revisión sistemática de la literatura. *Hechos Microbiológicos*, 6(1-2), 52-64.

- Carbajal, D., Molina, V., Noa, M., Valdés, S., Arruzazabala, M. L., Aguilar, C., & Más, R. (2000). Effect of D-002 on gastric mucus composition in ethanol-induced ulcer. *Pharmacological Research*, 42(4), 329–332. doi:10.1006/phrs.2000.0693
- Carbajal, D., Molina, V., Valdés, S., Arruzazabala, M. L., Más, R., & Magraner, J. (1998). Anti-inflammatory activity of D-002: an active product isolated from beeswax. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 59(4), 235–238. doi:10.1016/s0952-3278(98)90135-1
- Carretero Accame, M. E. (2007). Aloe: acíbar y gel de aloe. *Panorama actual del medicamento*, 31(303), 484. Obtenido de <https://botplusweb.portalfarma.com/documentos/2007/5/18/29781.pdf>
- Casariego, A., Souza, B. W., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Cruz, L., & Díaz, R. (2008). Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1452–1459. doi:10.1016/j.foodhyd.2007.09.010
- Castañeda Vázquez, B. I. (2010). *Inducción de antocianinas y capacidad antioxidante por oligogalacturónidos en uvas de mesa cv. 'Flame Seedless'*. Tesis de maestría en ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Hermosillo, Sonora, México. Obtenido de <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/295/1/CASTA%C3%91EDA-VAZQUEZ-BI10.pdf>
- Chen, C. P., Wang, B. J., & Weng, Y. M. (2010). Physicochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(5), 1050–1055. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02235.x
- Chen, H., Cao, S., Fang, X., Mu, H., Yang, H., Wang, X., . . . Gao, H. (2015). Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell wall degrading enzymes in postharvest blueberries during storage. *Scientia Horticulturae* (188), 44-48. doi:10.1016/j.scienta.2015.03.018
- Chiabrando, V., & Giacalone, G. (2015). Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity after fresh storage of blueberry treated with edible coatings. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(3), 248–253. doi:10.3109/09637486.2014.986075
- Chiabrando, V., & Giacalone, G. (2017). Quality evaluation of blueberries coated with chitosan and sodium alginate during postharvest storage. *International Food Research Journal*, 24(4), 1553-1561.
- Chilean Blueberry. (2021). *Crop Report*. Recuperado el 26 de abril de 2021, de <https://comitedearandanos.cl/crop-report/>
- Chlebowska-Śmigiel, A., & Gniewosz, M. (2009). Effect of pullulan coating on inhibition of chosen microorganisms' growth. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 8(3), 37-46. Obtenido de https://www.food.actapol.net/pub/4_3_2009.pdf

- Choi, W. Y., Park, H. J., Ahn, D. J., Lee, J., & Lee, C. Y. (2002). Wettability of Chitosan Coating Solution on 'Fuji' Apple Skin. *Journal of Food Science*, 67(7), 2668–2672. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb08796.x
- Chu, W., Gao, H., Chen, H., Fang, X., & Zheng, Y. (2017). Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2017.06.024
- Cirilo Roiz, A. (2015). *Recubrimientos comestibles antioxidantes para aumentar la vida útil de Pera cv. Conferencia*. Tesis de máster, Universidad Pública de Navarra, Departamento de Tecnología de Alimentos, Pamplona. España. Obtenido de <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/20734/TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (1995). *Codex Alimentarius - Norma General para los Aditivos Alimentarios*. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192s.pdf
- Código Alimentario Argentino. (2021a). *Capítulo XVIII - Aditivos Alimentarios*. Recuperado el 6 de junio de 2021, de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/marco/CAA/Capitulo_18.htm
- Código Alimentario Argentino. (2021b). *Capítulo XI - Alimentos Vegetales*. Recuperado el 6 de junio de 2021, de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xi_vegetalesactualiz_2021-03.pdf
- Comisión del Codex Alimentarius. (2002). *Comité del Codex sobre Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos - Tema 12 A*. Rotterdam, Países Bajos. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fshared%2BDocuments%252Farchive%252Fmeetings%252FCCFAC%252Fccfac34%252Ffa02_14s.pdf
- Comité Argentino de Arándanos. (2020a). *Argentina cierra la temporada 2020 con números estables y mayores envíos marítimos*. Recuperado el 17 de abril de 2021, de <https://www.argblueberry.com/home/argentina-cierra-la-temporada-2020-con-numeros-estables-y-mayores-envios-maritimos/>
- Comité Argentino de Arándanos. (2020b). *Argentina se prepara para la temporada de arándanos 2020*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://www.argblueberry.com/home/argentina-se-prepara-para-la-temporada-de-arandanos-2020/>
- Comité Argentino de Arándanos. (2020c). *Campaña "Mejor Con Arándanos"*. Recuperado el 13 de abril de 2021, de <https://www.argblueberry.com/home/mca/>
- Comité Argentino de Arándanos. (2020d). *Con gran éxito se llevaron a cabo las Jornadas Virtuales de Arándanos 2020*. Recuperado el 17 de abril de 2021, de

<https://www.argblueberry.com/home/con-gran-exito-se-llevaron-a-cabo-las-jornadas-virtuales-de-arandanos-2020/>

Comité Argentino de Arándanos. (2020e). *Info. del Sector*. Recuperado el 17 de abril de 2021, de <https://www.argblueberry.com/home/estadisticas/>

Cruañes, M. C., & Locaso, D. E. (2011). Quitosano: antimicrobiano biodegradable en postcosecha de arándanos (*Vaccinium myrtillus* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 57-63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81318808009>

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (Edits.). (2010). *Fennema Química de los Alimentos* (Tercera ed.). Zaragoza, España: Acribia, S.A.

De la Cruz, J. (2018). *Antocianinas: La salud viene en colores*. Recuperado el 13 de octubre de 2021, de <https://steemit.com/steempres/@josedelacruz/antocianinaslasaludvieneencolores-ae4widwr4q>

De las Cagigas Reig, A. L., & Anesto, J. B. (2002). Prebióticos y probióticos, una relación beneficiosa. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 16(1), 63-68.

Defilippi Bruzzone, B., Rivera Smith, S., & Arriola Santibañez, R. (2017). Aspectos claves durante postcosecha para la obtención de un arándano de calidad. En A. González G (Ed.), *Adaptación de la metodología Cropcheck para el cultivo de arándanos en el sur de Chile* (págs. 121-142). Temuco, Chile. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/6576/NR40584.pdf?sequence=1>

Defilippi, B., Robledo, P., & Becerra, C. (2013). Manejo de cosecha y poscosecha en arándanos. En P. Undurraga D., & S. Vargas S. (Edits.), *Manual del arándano* (págs. 107-115). Chillán, Chile. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7636/NR39102.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Del Angel Purata, F. M. (2019). *Películas para recubrimiento de alimentos base pectina, alginato y quitosano*. Tesis de máster, Intituto Tecnológico de Ciudad Madero, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Ciudad Madero, Tamaulipas, México. Obtenido de <http://repositorio.tecnm.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/395/1/PEL%C3%8DCULAS%20PARA%20RECUBRIMIENTO%20DE%20ALIMENTOS%20BASE%20PECTINA%20CALGINATO%20Y%20QUITOSANO.pdf>

Del Valle Soazo, M. (2012). *Aplicación de Recubrimientos Comestibles para Mantener la Calidad de Frutillas Congeladas*. Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe.

Dell'Acqua, A., Moyano, M., Galván, J., Ríos, L., & Paz, C. (2019). *Comercialización y competitividad del arándano argentino*. (INTA, Ed.)

- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. doi:10.1080/10408398.2010.541568
- Dhanapal, A., Sasikala, P., Rajamani, L., Kavitha, V., Yazhini, G., & Shakila Banu, M. (2012). Edible films from Polysaccharides. *Food Science and Quality Management*, 3, 9-17.
- Diab, T., Biliaderis, C. G., Gerasopoulos, D., & Sfakiotakis, E. (2001). Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 988–1000. doi:10.1002/jsfa.883
- Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview. *Foods*, 10(2). doi:10.3390/foods10020249
- Díaz-Visurraga, J., Meléndrez, M. F., García, A., Paulraj, M., & Cárdenas, G. (2010). Semitransparent chitosan-TiO₂ nanotubes composite film for food package applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(6), 3503-3515. doi:10.1002/app.31881
- Domínguez-Fernández, R. N., Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J. J., Welti-Chanes, J. S., Alvarado-González, J. S., Calderón-Domínguez, G., . . . Gutiérrez-López, G. F. (2012). El gel de *Aloe vera*: estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 23-43.
- Donsì, F., & Ferrari, G. (2016). Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*, 233, 106–120. doi:10.1016/j.jbiotec.2016.07.005
- Donsì, F., Annunziata, M., Vincensi, M., & Ferrari, G. (2012). Design of nanoemulsion-based delivery systems of natural antimicrobials: Effect of the emulsifier. *Journal of Biotechnology*, 159(4), 342–350. doi:10.1016/j.jbiotec.2011.07.001
- EFSA-FAF-Panel, Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K.-H., Fowler, P., . . . Wright, M. (2021). Scientific Opinion on the Safety Assessment of Titanium Dioxide (E171) as a Food Additive. *EFSA Journal*, 19(5). doi:10.2903/j.efsa.2021.6585
- Ehman, N. V. (2019). *Nanocelulosa a partir de residuos agro y forestoindustriales*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Misiones, Argentina. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/80941/CONICET_Digital_Nro.29e13cb-f7f1-40cb-aef2-41f29c4000f4_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Ehuletche, A. B. (2017). *APAMA en los medios: Perecederos en busca de herramientas más prácticas y eficaces*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de https://www.apama.com.ar/public/noticias/2371_apama-en-los-medios-perecederos-en-busca-de-herramientas-mas-practicas-y-eficaces.html
- Eldib, R., Khojah, E., Elhakem, A., Benajiba, N., & Helal, M. (2020). Chitosan, Nisin, Silicon Dioxide Nanoparticles Coating Films Effects on Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) Quality. *Coatings*, 10(962). doi:10.3390/coatings10100962

- Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (Edits.). (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York, Estados Unidos: Springer. doi:10.1007/978-0-387-92824-1
- Esau, K. (1977). *Anatomy of Seed Plants* (Segunda ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Espitia Sibaja, H. M. (2010). *Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos*. Tesis de máster, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69993/10777030.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espitia, P. J., Batista, R. A., Azeredo, H. M., & Otoni, C. G. (2016). Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. *Food Research International*, *90*, 42–52. doi:10.1016/j.foodres.2016.10.026
- Falagán, N., Miclo, T., & Terry, L. A. (2020). Graduated Controlled Atmosphere: A Novel Approach to Increase “Duke” Blueberry Storage Life. *Frontiers in Plant Science*, *11*(221). doi:10.3389/fpls.2020.00221
- Farias, M. F., Torres Leal, G. J., & Felipe, M. N. (2015). *Evalúan comportamiento de nuevas variedades de arándanos frente Alternaria tenuissima*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: <https://inta.gob.ar/noticias/evaluan-comportamiento-de-nuevas-variedades-de-arandanos-frente-alternaria-tenuissima>
- Feippe, A., Ibáñez, F., Fredes, A., Varela, P., & Lado, J. (2012). Efecto del estado de desarrollo de arándanos sobre las propiedades físico-químicas. *Revista INIA* (30), 39-42. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4842/1/revista-INIA-30.pdf>
- Femenia, A., Sánchez, E. S., Simal, S., & Rosselló, C. (1999). Compositional features of polysaccharides from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) plant tissues. *Carbohydrate Polymers*, *39*(2), 109–117. doi:10.1016/s0144-8617(98)00163-5
- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *24*(3), 52-57. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542015000300008&script=sci_arttext&tlng=en
- Fernández, N. M., Echeverría, D. C., Mosquera, S. A., & Paz, S. P. (2017). Estado Actual del Uso de Recubrimientos Comestibles en Frutas y Hortalizas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *15*(2), 134-141. doi:10.18684/BSAA(15)134-141
- Fernández-Larrea, J., Pinent, M., Bladé, M. C., Salvadó, M. J., Blay, M., Pujadas, G., . . . Arola, L. (2007). Alimentos ricos en procianidinas, alimentación funcional para prevenir la aparición de síndrome metabólico. *Revista Española de Obesidad*, *5*(2), 98-108.
- Ferreira Ardila, S. (2007). *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Farmacia, Bogotá, Colombia.

- Flores Riveros, L. D. (2019). *Rendimiento y calidad de 20 progenies de arándanos (Vaccinium corymbosum L.)*. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4160/flores-riveros-lenny-denis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ford, J. L. (2014). Design and Evaluation of Hydroxypropyl Methylcellulose Matrix Tablets for Oral Controlled Release: A Historical Perspective. En P. Timmins, S. Pygall, & M. C. (Edits.), *Hydrophilic Matrix Tablets for Oral Controlled Release* (Vol. 16, págs. 17-51). New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4939-1519-4_2
- Fraeye, I., Duvetter, T., Doungla, E., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). Fine-tuning the properties of pectin–calcium gels by control of pectin fine structure, gel composition and environmental conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 21(5), 219-228. doi:10.1016/j.tifs.2010.02.001
- France I., A. (2012). Enfermedades de post cosecha en arándanos: reconocimiento y manejo. *Revista Frutícola - Copefrut S.A.* (3), 29-34. Obtenido de https://www.copefrut.com/wp-content/themes/copefrut/img/revistas/2012_N3.pdf
- France I., A. (2013). Manejo de enfermedades en arándano. En P. Undurraga D., & S. Vargas S. (Edits.), *Manual del arándano* (págs. 55-70). Chillán, Chile. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7633/NR39099.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fratini, F., Cilia, G., Turchi, B., & Felicioli, A. (2016). Beeswax: A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9(9), 839–843. doi:10.1016/j.apjtm.2016.07.003
- Galus, S., Uchański, P., & Lenart, A. (2013). Colour, mechanical properties and water vapour permeability of pectin films. *Acta Agrophysica*, 20(3), 375-384.
- García Pastor, M. E. (2016). *Contenido en antocianos y compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados*. Tesis de máster, Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Alicante, España. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fspace.umh.es%2Fbitstream%2F11000%2F2914%2F1%2FTFM%2520Garc%25C3%25ADa%2520Pastor%252C%2520Mar%25C3%25ADa%2520Emma.pdf&clen=6349252
- García Rubio, J. C. (2010a). *Conservación del arándano*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=5222&anyo=#~:text=La%20fruta%20preenfriada%20debe%20permanecer,unas%20dos%20o%20tres%20semanas>.
- García Rubio, J. C. (2010b). *Descripción del arándano*. Recuperado el 16 de abril de 2021, de <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=5192>
- García Rubio, J. C., García González de Lena, G., & Ciordia Ara, M. (2013). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *Tecnología Agroalimentaria*(12), 5-8. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=5566>

- García Rubio, J. C., García González de Lena, G., & Ciordia Ara, M. (2018). *El cultivo del arándano en el norte de España*. SERIDA y Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales del Principado de Asturias.
- García, M., Delgado, F., Escamilla, M., García, B., & Regalado, C. (2018). Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles. *Revista BioTecnología*, 22(1), 37-54. Obtenido de <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2018/06/Garci%CC%81a-et-al-2018.pdf>
- García-Figueroa, A. G., Ayala-Aponte, A., & Sánchez-Tamayo, M. I. (2019). Efecto de recubrimientos comestibles de *Aloe vera* y alginato de sodio sobre la calidad poscosecha de fresa. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). doi:10.31910/rudca.v22.n2.2019.1320
- Garrote, A., & Bonet, R. (2017). Probióticos. *Farmacia Abierta*, 31(2), 13-16. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-X0213932417608720>
- Ghanem, N. B. (2011). Study on the antimicrobial activity of honey products and some Saudi Folkloric substances. *Research Journal of Biotechnology*, 6(4), 38-43. Obtenido de http://www.manukahonning.no/uploads/3/9/6/3/39639435/2011_study_on_the_antimicrobial_activity_of_honey_products_and_some_saudi_folkloric_substances.pdf
- Ghosh, T., Nakano, K., & Katiyar, V. (2021). Curcumin doped functionalized cellulose nanofibers based edible chitosan coating on kiwifruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 936–945. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.09
- Gill, A. O., & Holley, R. A. (2004). Mechanisms of Bactericidal Action of Cinnamaldehyde against *Listeria monocytogenes* and of Eugenol against *L. monocytogenes* and *Lactobacillus sakei*. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(10), 5750–5755. doi:10.1128/AEM.70.10.5750-5755.2004
- Godoy, C. A. (2004). Conservación de dos variedades de arándano alto. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo* (1), 53-61. Obtenido de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/157/GodoyAgrarias1-04.PDF
- Gonzales Huanri, N. Y., & Quispe Nazario, E. B. (2019). *Efecto del recubrimiento comestible a base de pectina y quitosano en la vida útil de arándanos (Vaccinium corymbosum L.)*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Nuevo Chimbote, Perú.
- González G., A., Jequier J., J., Ellena D., J., Contreras C., M., & San Martín, J. (2013). Tecnologías para mejorar calidad y condición de fruta de arándanos. En A. González G., J. P. Subercaseaux, & M. Ellena D. (Edits.), *Arándanos: Optimización de la productividad de la mano de obra y tecnologías para el incremento de calidad y condición en el sur de Chile*. Temuco, Chile. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7609/NR39074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- GRN No. 99 - Pullulan. (2002). En U. S. Food & Drug Administration, *Generally Recognized as Safe, Food Ingredient & Packaging Inventories, GRAS Notices*. Recuperado el 1 de

- agosto de 2021, de
https://www.cfsanappsexternal.fda.gov/scripts/fdcc/?set=GRASNotices&id=99&sort=GRN_No&order=DESC&startrow=1&type=basic&search=pullulan
- Gulrez, S. K., Al-Assaf, S., & Phillips, G. O. (2011). Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications. *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology Applications*. doi:10.5772/24553
- Guranizo Franco, A., & Martínez Yepes, P. N. (2009). Extracción Soxhlet. En *Experimentos de Química Orgánica con Enfoque en Ciencias de la Vida*. (pág. 69). Armenia, Colombia: Ediciones Elizcom. Obtenido de https://books.google.com.ar/books?id=Otm5wsEeKYEC&pg=PA69&lpg=PA69&dq=cation+flavilio&source=bl&ots=BSize0_ecSn&sig=ACfU3U25jgIBjlyp4BpSMCnQA4NAS0q_Dg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMufnOq8nxAhUFRpUCHfICBksQ6AEwGHoECCwQAw#v=onepage&q=cation%20flavilio&f=false
- Gutiérrez-Larraínzar, M., Rúa, J., Caro, I., De Castro, C., De Arriaga, D., García-Armesto, M. R., & Del Valle, P. (2012). Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of natural phenolic compounds against foodborne pathogens and spoilage bacteria. *Food Control*, 26(2), 555–563. doi:10.1016/j.foodcont.2012.02.025
- Hamman, J. H. (2008). Composition and Applications of *Aloe vera* Leaf Gel. *Molecules*, 13(8), 1599-1616. doi:10.3390/molecules13081599
- Han, J. H. (2014). Edible Films and Coatings: A review. En J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (Segunda ed., págs. 213–255). doi:10.1016/b978-0-12-394601-0.00009-6
- Hargrove, J. L., Greenspan, P., & Hartle, D. K. (2004). Nutritional Significance and Metabolism of Very Long Chain Fatty Alcohols and Acids from Dietary Waxes. *Experimental Biology and Medicine*, 229(3), 215–226. doi:10.1177/153537020422900301
- Hayashibara International Inc. (2002). *Pullulan GRAS Notification*. Colorado, USA. Obtenido de <http://wayback.archive-it.org/7993/20171031060141/https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/UCM261324.pdf>
- Herrera Silva, M. (2015). *Caracterización óptica, porcentaje de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de películas comestibles compuestas a base de alginato-goma guar*. Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Herrera Terán, M. P. (2018). *Obtención de nanocelulosa a partir de celulosa de puntas de Abacá*. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19544/1/CD-8942.pdf>
- Hoagland, P. D., & Parris, N. (1996). Chitosan/Pectin Laminated Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1915-1919. doi:10.1021/jf950162s

- Howard, L. R., Brownmiller, C., Mauromoustakos, A., & Prior, R. L. (2016). Improved stability of blueberry juice anthocyanins by acidification and refrigeration. *Journal of Berry Research* (6), 189–201. doi:10.3233/JBR-160133
- Ibargüen D., A. O., Pinzón, M. I., & Arbelaéz Arias, L. M. (2015). Elaboración y caracterización de películas comestibles a base del gel de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller L.). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(36), 133-149.
- Infante Rivera, J. J., Campos Tapia, V., Guerrero Salazar, C. A., & Sepúlveda Guzmán, S. (2012). Bionanocompuestos de carragenina k con nanopartículas metálicas. *Ingenierías*, 15(57), 66-73. Obtenido de http://eprints.uanl.mx/10503/1/57_bionanocompositos_de_carragenina.pdf
- Ishwarya S., P., Sandhya, R., & Nisha, P. (2021). Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–25. doi:10.1080/10408398.2021.1875394
- Islas-Hernández, J. J., González-Soto, R. A., & Guzmán-Ozuna, S. J. (2020). Nanofibras de celulosa obtenidas a partir de residuos de plátano macho y su aplicación como reforzamiento de películas biodegradables. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 681-686. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/10/139.pdf>
- Jasso de Rodríguez, D., Hernández-Castillo, D., Rodríguez-García, R., & Angulo-Sánchez, J. L. (2005). Antifungal activity in vitro of *Aloe vera* pulp and liquid fraction against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products*, 21(1), 81–87. doi:10.1016/j.indcrop.2004.01.002
- Jaworek, A., & Sobczyk, A. T. (2008). Electro spraying route to nanotechnology: An overview. *Journal of Electrostatics*, 66(3-4), 197–219. doi:10.1016/j.elstat.2007.10.001
- Kaewklin, P., Siripatrawan, U., Suwanagul, A., & Lee, Y. S. (2018). Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 523–529. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.01.124
- Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Krikorian, R., Stull, A. J., Tremblay, F., & Zamora-Ros, R. (2019). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236. doi:10.1093/advances/nmz065
- Kerbel, E. (2021). Prácticas de manejos postcosecha y atmósfera controlada para una óptima calidad de los arándanos durante el transporte marítimo. Webinar Carrier TRANSICOLD. San Jose, Costa Rica.
- Khoshgozaran-Abras, S., Azizi, M. H., Hamidy, Z., & Bagheripoor-Fallah, N. (2012). Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of *Aloe vera* gel incorporation. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2058–2062. doi:10.1016/j.carbpol.2011.10.020

- Kim, K. M., Son, J. H., Kim, S.-K., Weller, C. L., & Hanna, M. A. (2006). Properties of Chitosan Films as a Function of pH and Solvent Type. *Journal of Food Science*, 71(3), 119–124. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/194039477.pdf>
- King, A. D., & Bolin, H. R. (1989). Physiological and microbiological storage of stability of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 43, 132–139.
- Krąśniewska, K., Scibisz, I., Gniewosz, M., Mitek, M., Pobiega, K., & Cendrowski, A. (2017). Effect of Pullulan Coating on Postharvest Quality and Shelf-Life of Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Materials*, 10(965). doi:10.3390/ma10080965
- Kuntzleman, T. (2020). *Berries are red, berries are blue...I've got a berry surprise for you!* Recuperado el 20 de abril de 2021, de Chemical Education Xchange : <https://www.chemedx.org/blog/berries-are-red-berries-are-blue%E2%80%A6I%E2%80%99ve-got-berry-surprise-you>
- Kuwar, U., Sharma, S., & Tadapaneni, V. R. (2015). *Aloe vera* gel and honey-based edible coatings combined with chemical dip as a safe means for quality maintenance and shelf life extension of fresh-cut papaya. *Journal of Food Quality*, 38, 347–358. doi:10.1111/jfq.12150
- Ky, I., Le Floch, A., Zeng, L., Pechamat, L., Jourdes, M., & Teissedre, P.-L. (2016). Tannins. *Encyclopedia of Food and Health*, 247–255. doi:10.1016/b978-0-12-384947-2.00683-8
- La cera de abejas - Un producto útil y valioso. (2005). En N. Bradbear, *La apicultura y los medios de vida sostenibles*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/y5110s/y5110s07.htm#bm07>
- Lea, A. (2008). Analysis of polyphenol antioxidants in fortified foods and supplements. *Food Fortification and Supplementation*, 175–194. doi:10.1533/9781845694265.2.175
- Lee, P., & Rogers, M. A. (2012). Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1(2), 96–100. doi:10.1016/j.ijgfs.2013.06.003
- Li, Y., Rokayya, S., Jia, F., Nie, X., Xu, J., Elhakem, A., . . . Helal, M. (2021). Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. *Scientific Reports*. doi:10.1038/s41598-020-80056-z
- Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60-75. doi:10.1111/j.1541-4337.2007.00018.x
- Linders, L. J., De Jong, G. I., Meerdink, G., & Van't Riet, K. (1997). Carbohydrates and the dehydration inactivation of *Lactobacillus plantarum*: The role of moisture distribution and water activity. *Journal of Food Engineering*, 31(2), 237–250. doi:10.1016/s0260-8774(96)00077-5
- Listing of Color Additives Exempt from Certification - Titanium dioxide. (2020). En U. S. Food & Drug Administration, *Code of Federal Regulations - Title 21*. Recuperado el 1 de agosto

- de 2021, de
<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=73.575>
- Listing of Specific Substances Affirmed as GRAS - Nisin preparation. (2020). En U. S. Food & Drug Administration, *Code of Federal Regulations - Title 21*. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de
<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=184.1538>
- Listing of Specific Substances Affirmed as GRAS - Pectins. (2020). En U. S. Food & Drug Administration, *Code of Federal Regulations - Title 21*. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de
<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1588>
- Lorevice, M. V., Gomide Otoni, C., De Moura, M. R., & Capparelli Mattoso, L. H. (2016). Chitosan nanoparticles on the improvement of thermal, barrier, and mechanical properties of high- and low-methyl pectin films. *Food Hydrocolloids*, 52, 732-740. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.08.003
- Magalhães Vieira, J. M. (2014). *Development of Chitosan-based Edible Coatings containing Aloe vera for Blueberries Application*. Tesis de máster, Universidad de Coimbra, Facultad de Farmacia, Coimbra, Portugal. Obtenido de
<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/30071/1/Tese%20Jorge%20Vieira.pdf>
- Mannozi, C., Cecchini, J. P., Tylewicz, U., Siroli, L., Patrignani, F., Lanciotti, R., . . . Romani, S. (2016). Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 440-444. doi:10.1016/j.lwt.2016.12.056
- Mannozi, C., Tylewicz, U., Chinnici, F., Siroli, L., Rocculi, P., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2018). Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2018.01.015
- Manoj, H. G., Sreenivas, K. N., Shankarappa, T. H., & Krishna, H. C. (2016). Studies on Chitosan and *Aloe vera* Gel Coatings on Biochemical Parameters and Microbial Population of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) Under Ambient Condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(1), 399-405. doi:10.20546/ijcmas.2016.501.039
- Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). *Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones*. Obtenido de Revista Tecnocientífica Universidad Rafael Urdaneta (URU).
- Martínez Camacho, A. P. (2009). *Propiedades estructurales y fungistáticas de biopelículas de quitosano obtenido de ensilados de desecho de camarón*. Tesis de maestría, Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Hermosillo, Sonora. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19407/Capitulo2.pdf> / <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=19407>

- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (19). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153823018.pdf>
- Martínez-Romero, D., Albuquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: A new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93–100. doi:10.1016/j.postharvbio.2005.09.006
- Martins, E., Poncelet, D., Rodrigues, R. C., & Renard, D. (2017). Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: applications and drawbacks. *Journal of Microencapsulation*. doi:10.1080/02652048.2017.1403495
- Matiacevich, S., Celis Cofré, D., Silva, P., Enrione, J., & Osorio, F. (2013). Quality Parameters of Six Cultivars of Blueberry Using Computer Vision. (C. J. Schaschke, Ed.) *International Journal of Food Science*. doi:10.1155/2013/419535
- Mayer, R., Stecher, G., Wuerzner, R., Silva, R. C., Sultana, T., Trojer, L., . . . Bonn, G. K. (2008). Proanthocyanidins: Target Compounds as Antibacterial Agents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 6959–6966. doi:10.1021/jf800832r
- McClements, D. J. (2021). Advances in edible nanoemulsions: Digestion, bioavailability, and potential toxicity. *Progress in Lipid Research*, 81. doi:10.1016/j.plipres.2020.101081
- McHugh, T. H., & Senesi, E. (2000). Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-cut Apples. *Journal of Food Science*, 65(3), 480–485. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb16032.x
- Medina-Jaramillo, C., Quintero-Pimiento, C., Díaz-Díaz, D., Goyanes, S., & López-Córdoba, A. (2020). Improvement of Andean Blueberries Postharvest Preservation Using Carvacrol/Alginate-Edible Coatings. *Polymers*, 12(10). doi:10.3390/polym12102352
- Medina-Jaramillo, C., Quintero-Pimiento, C., Gómez-Hoyos, C., Zuluaga-Gallego, R., & López-Córdoba, A. (2020). Alginate-Edible Coatings for Application on Wild Andean Blueberries (*Vaccinium meridionale* Swartz): Effect of the Addition of Nanofibrils Isolated from Cocoa By-Products. *Polymers*, 12(4). doi:10.3390/polym12040824
- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2020). Recent Trends in the Use of Pectin from Agro-Waste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications. *Materials*, 13(673). doi:10.3390/ma13030673
- Méndez Reyes, D. A., Quintero Cerón, J. P., Váquiro Herrera, H. A., & Solanilla Duque, J. F. (2015). Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 89-113. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/294892030_Alginato_de_sodio_en_el_desarrollo_de_pelculas_comestibles_Sodium_alginate_in_the_development_of_edible_films

- Mendoza, S., Noa, M., Pérez, Y., & Mas, R. (2007). Preventive Effect of D-002, a Mixture of Long-Chain Alcohols from Beeswax, on the Liver Damage Induced with CCl₄ in Rats. *Journal of Medicinal Food*, 10(2), 379–383. doi:10.1089/jmf.2006.296
- Menezes, J., & Athmaselvi, K. A. (2018). Report on Edible Films and Coatings. *Food Packaging and Preservation*, 177–212. doi:10.1016/b978-0-12-811516-9.00005-1
- Meng, S., & Liu, Y. (2013). Alginate block fractions and their effects on membrane fouling. *Water Research*, 47(17), 6618–6627. doi:10.1016/j.watres.2013.08.037
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2018). *Argentina envió por primera vez arándanos a China*. Recuperado el 17 de abril de 2021, de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/argentina-envio-por-primera-vez-arandanos-china>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2020). *Arándanos: Evolución de los principales indicadores del sector productivo*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/arandanos-oct-2020.pdf>
- Mohammadzadeh, S., Shariatpanahi, M., Hamed, M., Ahmadkhaniha, R., Samadi, N., & Ostad, S. N. (2007). Chemical composition, oral toxicity and antimicrobial activity of Iranian propolis. *Food Chemistry*, 103(4), 1097–1103. doi:10.1016/j.foodchem.2006.10.006
- Morales Reyes, M. A. (2011). *Generalidades y Aplicación de Películas y Recubrimientos Comestibles en la Cadena Hortofrutícola*. Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenavista, Saltillo Coahuila, México.
- Moreira, F. K., De Camargo, L. A., Marconcini, J. M., & Mattoso, L. H. (2013). Nutraceutically Inspired Pectin–Mg(OH)₂ Nanocomposites for Bioactive Packaging Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(29), 7110–7119. doi:10.1021/jf402110g
- Moreno, M. A., Vallejo, A. M., Ballester, A.-R., Zampini, C., Isla, M. I., López-Rubio, A., & Fabra, M. J. (2020). Antifungal edible coatings containing Argentinian propolis extract and their application in raspberries. *Food Hydrocolloids*, 107. doi:10.1016/j.foodhyd.2020.105973
- Müller, C. M., Laurindo, J. B., & Yamashita, F. (2009). Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 23(5), 1328–1333. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.09.002
- Murray, R., Candan, A. P., & Vázquez, D. (Eds.). (2019). *Manual de poscosecha de frutas: manejo integrado de patógenos*. (Segunda ed.). Buenos Aires: INTA Ediciones. Obtenido de https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/6349/INTA_CRBsAsNorte_EEASanPedro_Murray_Candan_Vazquez_eds_manual_poscosecha_frutas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Naserzadeh, Y., Mahmoudi, N., & Pakina, E. (2019). Antipathogenic effects of emulsion and nanoemulsion of cinnamon essential oil against *Rhizopus* rot and grey mold on

strawberry fruits. *Foods and Raw Materials*, 7(1), 210–216. doi:10.21603/2308-4057-2019-1-210-216

- Navarro Martínez, D. M. (2013). *Efecto de los tratamientos de gel de Aloe aplicados en pre- o post-recolección sobre la calidad de frutos de hueso y uva de mesa*. Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Orihuela, Alicante, España. Obtenido de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1371/1/TESIS%20DIANA%20MARIA%20NAVARRO%20MARTINEZ.pdf>
- Navarro Tarazaga, M. L. (2007). *Efecto de la Composición de Recubrimientos Comestibles a base de Hidroxipropilmetilcelulosa y Cera de Abeja en la Calidad de Ciruelas, Naranjas y Mandarinas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia.
- Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: A review. *Veterinarni Medicina*, 58(4), 187–205.
- Negash, A. W., & Tsehai, B. A. (2020). Current Applications of Bacteriocin. (J. Falkinham, Ed.) *International Journal of Microbiology*. doi:10.1155/2020/4374891
- Neto, C. C. (2007). Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, 652 – 664. doi:10.1002/mnfr.200600279
- Nicolau-Lapeña, I., Colàs-Medà, P., Alegre, I., Aguiló-Aguayo, I., Muranyi, P., & Viñas, I. (2020). Aloe vera gel: An update on its use as a functional edible coating to preserve fruits and vegetables. *Progress in Organic Coatings*. doi:10.1016/j.porgcoat.2020.106007
- Nicoletti, A. M., Arocha Gularte, M., Cardoso Elias, M., Santos dos Santos, M., Ávila, B. P., Fernandes Monks, J. L., & Peres, W. (2015). Blueberry Bioactive Properties and Their Benefits for Health: A Review. *International Journal of New Technology and Research*, 1(7), 51-57.
- Noreen, A., Nazli, Z.-i.-H., Akram, J., Rasul, I., Mansha, A., Yaqoob, N., . . . Zia, K. M. (2017). Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 254-272. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.03.029
- O'Neal Southern Highbush Blueberry Plant. (s.f.). Recuperado el 22 de noviembre de 2021, de Gurney's Seed and Nursery Co.: <https://www.gurneys.com/product/oneal-southern-highbush-blueberry>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1987). Las frutas y hortalizas frescas como productos percederos. En *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas - Parte I*. Santiago de Chile, Chile. Obtenido de <http://www.fao.org/3/x5055S/x5055S02.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction*.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). *Cultivos*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de FAOSTAT: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Evaluation of certain food additives: Sixty-fifth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. *WHO Technical Report Series, 934*. Obtenido de http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43408/WHO_TRS_934_eng.pdf?sequence=1
- Ortega Cardona, C. E., & Aparicio Fernández, X. (2020). Quitosano: una alternativa sustentable para el empaque de alimentos. *Revista Digital Universitaria, 21*(5). doi:10.22201/cuaieed.16076079e.2020.21.5.4
- Ortiz Choez, C. A. (2015). *Acción antimicrobiana de soluciones formadoras de recubrimientos comestibles a base de quitosano y extracto hidroalcohólico de mango (Mangifera Indica) frente a microorganismos de interés sanitario*. Tesis de grado, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Ecuador.
- Osborne, D. J. (2004). Advances in pectin and pectinase research. (F. Voragen, H. Schols, & R. Visser, Edits.) *Annals of Botany, 94*(3), 479–480. doi:10.1093/aob/mch146
- Osorio, F. A., Molina, P., Matiacevich, S., Enrione, J., & Skurtys, O. (2011). Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. *Procedia Food Science, 1*, 287–293. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.045
- Páez, R. B. (2013). *Desarrollo de cultivos probióticos deshidratados por secado spray para aplicación en alimentos. Estudios microbiológicos y tecnológicos*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Ciencias Químicas. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38116/Documento_completo__pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paniagua, A. C., East, A. R., Hindmarsh, J. P., & Heyes, J. A. (2013). Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology, 79*, 13–19. doi:10.1016/j.postharvbio.2012.12.016
- Pannunzio, A. (2021a). *Balance de la temporada de exportación de arándanos argentinos*. Recuperado el 17 de abril de 2021, de Asociación de Productores de Arándanos de la Mesopotamia Argentina: https://www.apama.com.ar/noticias/2532_balance-de-la-temporada-de-exportacion-de-arandanos-argentinos.html
- Pannunzio, A. (2021b). El presidente de APAMA habló sobre la realidad del sector en LN+Campo. (E. Cole, Entrevistador) LN+. Obtenido de https://www.apama.com.ar/noticias/2536_el-presidente-de-apama-hablo-sobre-la-realidad-del-sector-en-ln-campo.html
- Parzanese, M. (s.f.). *Tecnologías para la Industria Alimentaria - Películas y Recubrimientos Comestibles*. Ficha N° 7, Alimentos Argentinos – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Obtenido de

http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PelículaComestible.pdf

- Pastor Navarro, C. (2010). *Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa: caracterización y aplicación*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia, España.
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 70, 32–41. doi:10.1016/j.postharvbio.2012.04.002
- Pereira, L., & Cotas, J. (2020). Introductory Chapter: Alginates - A General Overview. En L. Pereira (Ed.), *Alginates - Recent Uses of This Natural Polymer*. doi:10.5772/intechopen.88381
- Peretto, G., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. J., Berrios, J. D., Sambo, P., & McHugh, T. H. (2014). Optimization of Antimicrobial and Physical Properties of Alginate Coatings Containing Carvacrol and Methyl Cinnamate for Strawberry Application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(4), 984–990. doi:10.1021/jf4042886
- Pinedo Montoya, S. K. (2018). Caracterización fisicoquímica y organoléptica de variedades comerciales de arándano y otras especies del género *Vaccinium*. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(3), 52-58. doi:10.25127/ucni.v1i3.426
- Pirozzi, A., Ferrari, G., & Donsì, F. (2021). The Use of Nanocellulose in Edible Coatings for the Preservation of Perishable Fruits and Vegetables. (J. Han, Ed.) *Coatings*, 11(8). doi:10.3390/coatings11080990
- Pobiega, K., Igielska, M., Włodarczyk, P., & Gniewosz, M. (2020). The use of pullulan coatings with propolis extract to extend the shelf life of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *International Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1111/ijfs.14753
- Pobiega, K., Kraśniewska, K., & Gniewosz, M. (2019). Application of propolis in antimicrobial and antioxidative protection of food quality – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 53–62. doi:10.1016/j.tifs.2018.11.007
- Przybyłek, I., & Karpiński, T. M. (2019). Antibacterial Properties of Propolis. *Molecules*, 24(11). doi:10.3390/molecules24112047
- Ramírez, G. (2003). Sábila (*Aloe vera*). *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*, 21(1), 26-33. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4956300>
- Ramírez, J. C., Ulloa, P. R., Velázquez González, M. Y., Ulloa, J. A., & Romero, F. A. (2011). Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente*, 2(7). Obtenido de <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-07/1.pdf>
- Ramziia, S., Ma, H., Yao, Y., Wei, K., & Huang, Y. (2017). Enhanced antioxidant activity of fish gelatin-chitosan edible films incorporated with procyanidin. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(10). doi:10.1002/app.45781

- Rauf, A., Imran, M., Abu-Izneid, T., Iqbal, H., Patil, S., Pan, X., . . . Rasul Suleria, H. A. (2019). Proanthocyanidins: A comprehensive review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 116. doi:10.1016/j.biopha.2019.108999
- Reque, P. M., Stroschoen Steffens, R., Martins Da Silva, A., Jablonski, A., Hickmann Flôres, S., de Oliveira Rios, A., & Vogt De Jong, E. (2014). Characterization of blueberry fruits (*Vaccinium* spp.) and derived products. *Food Science and Technology*, 34(4), 773-779. doi:10.1590/1678-457X.6470
- Rhodia. (2000). *Independent GRAS Determination of Nisin*. Obtenido de <http://wayback.archive-it.org/7993/20171031053748/https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/UCM266587.pdf>
- Rivadeneira, M. F. (2020). *Variedades de arándanos disponibles en Argentina*. Estación Experimental Agropecuaria Concordia del INTA. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_variedades_de_arandanos.pdf
- Rodrigues, F. J., Cedran, M. F., Bicas, J. L., & Sato, H. H. (2020). Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications – A narrative review. *Food Research International*, 137. doi:10.1016/j.foodres.2020.109682
- Rojas Graü, M. A. (2006). *Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación*. Tesis doctoral, Universitat de Lleida, Departament de Tecnologia d'Aliments, Llérida, España. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8377/Trgmj1de4.pdf?sequence=1>
- Rokayya, S., Jia, F., Li, Y., Nie, X., Xu, J., Han, R., . . . Helal, M. (2020). Application of nano-titanium dioxide coating on fresh Highbush blueberries shelf life stored under ambient temperature. *LWT - Food Science and Technology*. doi:10.1016/j.lwt.2020.110422
- Rue, E. A., Rush, M. D., & Van Breemen, R. B. (2018). Procyanidins: a comprehensive review encompassing structure elucidation via mass spectrometry. *Phytochemistry Reviews*, 17(1), 1-16. doi:10.1007/s11101-017-9507-3
- Sagalowicz, L., & Leser, M. E. (2010). Delivery systems for liquid food products. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15, 61–72. doi:10.1016/j.cocis.2009.12.003
- Sahinler, N., & Kaftanoglu, O. (2005). Natural Product Propolis: Chemical Composition. *Natural Product Research*, 19(2), 183–188. doi:10.1080/14786410410001704877
- Sajur, S. A., Ferullo Lanús, M., & Isla, M. I. (2007). Anatomía del fruto de *Vaccinium corymbosum*: fresco y conservado en sistemas combinados no convencionales. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 6(5), 223-224. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/856/85617508048.pdf>
- Saks, Y., & Barkai-Golan, R. (1995). *Aloe vera* gel activity against plant pathogenic fungi. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1-2), 159–165. doi:10.1016/0925-5214(94)00051-s

- Salah, F., Ghouli, Y. E., Mahdhi, A., Majdoub, H., Jarroux, N., & Sakli, F. (2017). Effect of the deacetylation degree on the antibacterial and antibiofilm activity of acemannan from *Aloe vera*. *Industrial Crops and Products*, *103*, 13–18. doi:10.1016/j.indcrop.2017.03.031
- Salazar, F. T. (2013). *Producción y exportación del arándano azul*. (Tesis de maestría) Obtenido de <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/949/2/2013-052T-EC01.pdf>
- Sanchez Ortiz, A. (2015). *Síntesis de nanopartículas derivadas de biopólimeros extraídos de biomasa por métodos térmicos*. Tesis de máster, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, San Nicolás de los Garza, México. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/9397/1/1080214894.pdf>
- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review. *Food Engineering Reviews*, *3*(1), 1–16. doi:10.1007/s12393-010-9031-3
- Sanidad Medioambiental Agroalimentaria, S. L. (s.f.). *Semperfresh 50*. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <http://www.sanidadagroalimentaria.com/producto/semperfresh>
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Remesy, C., & Jiménez, I. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *45*(4), 287–306. doi:10.1080/1040869059096
- Scientific Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food. (2018). Safety of hydroxyanthracene derivatives for use in food. *European Food Safety Authority Journal*, *16*(1). doi:10.2903/j.efsa.2018.5090
- Sellappan, S., Akoh, C. C., & Krewer, G. (2002). Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Georgia-Grown Blueberries and Blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(8), 2432–2438. doi:10.1021/jf011097r
- Senasa. (2019). *Arándanos, grandes beneficios nutricionales en una pequeña fruta*. Recuperado el 26 de abril de 2021, de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/arandanos-grandes-beneficios-nutricionales-en-una-pequena-fruta>
- Sforcin, J. M. (2016). Biological Properties and Therapeutic Applications of Propolis. *Phytotherapy Research*, *30*(6), 894–905. doi:10.1002/ptr.5605
- Shan, B., Cai, Y.-Z., Brooks, J. D., & Corke, H. (2007). Antibacterial Properties and Major Bioactive Components of Cinnamon Stick (*Cinnamomum burmannii*): Activity against Foodborne Pathogenic Bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(14), 5484–5490. doi:10.1021/jf070424d
- Shi, J., Yu, J., Pohorly, J. E., & Kakuda, Y. (2003). Polyphenolics in Grape Seeds—Biochemistry and Functionality. *Journal of Medicinal Food*, *6*(4), 291–299. doi:10.1089/109662003772519831
- Silva de Freitas, C. A., Machado de Sousa, P. H., Soares, D. J., Gomes da Silva, J. Y., Benjamin, S. R., & Florindo Guedes, M. I. (2019). Carnauba wax uses in food - A review. *Food Chemistry*, *291*, 38–48. doi:10.1016/j.foodchem.2019.03.13

- Silva, S., Costa, E. M., Veiga, M., Morais, R. M., Calhau, C., & Pintado, M. (2018). Health promoting properties of blueberries: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60 (2), 181-200. doi:10.1080/10408398.2018.1518895
- Singh, R. S., Kaur, N., & Kennedy, J. F. (2019). Pullulan production from agro-industrial waste and its applications in food industry: A review. *Carbohydrate Polymers*, 217, 46-57. doi:10.1016/j.carbpol.2019.04.050
- Singh, R. S., Saini, G. K., & Kennedy, J. F. (2008). Pullulan: Microbial sources, production and applications. *Carbohydrate Polymers*, 73(4), 515–531. doi:10.1016/j.carbpol.2008.01.003
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. (s.f.). *Vaccinium corymbosum*. Recuperado el 16 de abril de 2021, de <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/vaccinium-corymbosum>
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2), 30-42. doi:10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153
- Solis Rivera, S. I. (2016). *Elaboración y caracterización de películas comestibles elaboradas con hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)*. Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, México. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65172/Elaboraci%3%b3n%20de%20pel%3%adculas%20comestibles%20HPMC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sriamornsak, P. (2003). Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses : A Review. *Silpakorn University International Journal*, 3(1-2), 206-228. Obtenido de <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SUIJ/10559523.pdf>
- Stevens, K. A., Sheldon, B. W., Klapes, N. A., & Klaenhammer, T. R. (1991). Nisin treatment for inactivation of *Salmonella* species and other gram-negative bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(12), 3613-3615. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC184021/pdf/aem00065-0223.pdf>
- Suhag, R., Kumar, N., Trajkovska Petkoska, A., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136. doi:10.1016/j.foodres.2020.109582
- Sun, X., Narciso, J., Wang, Z., Ference, C., Bai, J., & Zhou, K. (2014). Effects of Chitosan-Essential Oil Coatings on Safety and Quality of Fresh Blueberries. *Journal of Food Science*, 79(5), 955-960. doi:10.1111/1750-3841.12447
- Suriati, L., Mangku, I. G., & Rudianta, I. N. (2018). The characteristics of *Aloe vera* gel as an edible coating. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 207. doi:10.1088/1755-1315/207/1/012051
- Suriati, L., Utama, I. M., Harjosuwono, B. A., & Gunam, I. B. (2020). Stability *Aloe Vera* Gel as Edible Coating. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 411. doi:10.1088/1755-1315/411/1/012053

- Sutherland, I. W. (1991). Alginates. En D. Byrom (Ed.), *Biomaterials: Novel Materials from Biological Sources*. (Primera ed., págs. 307-331). Basingstoke, Inglaterra, Reino Unido: Macmillan Publishers Ltd. Obtenido de https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=q_uwCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&ots=XfiL-IrwKY&sig=yPY3EN4Ko57ZpFE0aJL5baJckoU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Tabasum, S., Noreen, A., Maqsood, M. F., Umar, H., Akram, N., Nazli, Z.-H., . . . Zia, K. M. (2018). A review on versatile applications of blends and composites of pullulan with natural and synthetic polymers. *International Journal of Biological Macromolecules*, *120 (Pt A)*, 603-632. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.07.154
- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Rodríguez, F. J., Ramírez, J., Carmona, A., & Martín-Belloso, O. (2007). Alginate- and Gellan-Based Edible Films for Probiotic Coatings on Fresh-Cut Fruits. *Journal of Food Science*, *72(4)*, 190-196. doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00318.x
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, *137*, 360-374. doi:10.1016/j.carbpol.2015.10.074
- Tian, F., Chen, W., Wu, C., Kou, X., Fan, G., Li, T., & Wu, Z. (2018). Preservation of ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) seeds by coating with chitosan/nano-TiO₂ and chitosan/nano-SiO₂ films. *International Journal of Biological Macromolecules*, *126*, 917-925. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.12.177
- Tong, Q., Xiao, Q., & Lim, L.-T. (2008). Preparation and properties of pullulan–alginate–carboxymethylcellulose blend films. *Food Research International*, *41(10)*, 1007–1014. doi:10.1016/j.foodres.2008.08.005
- Torrades, S. (2001). Uso y abuso de los antibióticos. *Offarm*, *20(8)*, 82-93. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13018370>
- Tránsito López Luengo, M. (2004). *Áloe vera*. *Offarm*, *23(9)*, 96-100. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-aloe-vera-13067351>
- Tulloch, A. P. (1980). Beeswax—Composition and Analysis. *Bee World*, *61(2)*, 47–62. doi:10.1080/0005772x.1980.11097776
- U.S. Department of Agriculture. (2019). *FoodData Central: Blueberries*. Recuperado el 26 de abril de 2021, de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171711/nutrients>
- Ubaque Beltrán, C. A. (2020). *Inclusión de aceite esencial de orégano y nisina encapsulados en biorecubrimiento comestible a partir de quitosano como alternativa de conservación en carne de hamburguesa de res*. Tesis de máster, Universidad Nacional de Colombia, Facultad De Ciencias Agrarias, Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77852/1026260154.2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Unidad Informática del Instituto de Química. (2017). *β-D-Glucosa*. Obtenido de <https://uniiquim.iquimica.unam.mx/compuesto-item/b-d-glucosa-979/>

- Valdés, A., Burgos, N., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2015). Natural Pectin Polysaccharides as Edible Coatings. (S. Farris, Ed.) *Coatings*, 5(4), 865-886. doi:10.3390/coatings5040865
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2005). Novel Edible Coating Based on *Aloe vera* Gel To Maintain Table Grape Quality and Safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7807–7813. doi:10.1021/jf050962v
- Vasquez Tantalean, V. (2019). *Efecto de recubrimientos comestibles a base de gel de penca sábila (Aloe vera) con cera de abeja en la conservación de arándanos (Vaccinium corymbosum L.)*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Cajamarca, Perú.
- Vázquez-Briones, M. C., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 7(2), 5-14.
- Vázquez-Flores, A. A., Alvarez-Parrilla, E., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & De La Rosa, L. A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 6(2), 84-93. Obtenido de http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v6n2/data/Taninos_hidrolizables_y_condensados_naturaleza_quimicaventajas_y_desventajas_de_su_consumo.pdf
- Veldhuizen, E. J., Tjeerdma-van Bokhoven, J. L., Zweijtzer, C., Burt, S. A., & Haagsman, H. P. (2006). Structural Requirements for the Antimicrobial Activity of Carvacrol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1874–1879. doi:10.1021/jf052564y
- Vergis, J., Gokulakrishnan, P., Agarwal, R. K., & Kumar, A. (2013). Essential Oils as Natural Food Antimicrobial Agents: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(10), 1320–1323. doi:10.1080/10408398.2012.692127
- Vieira, J. M., Flores-López, M. L., De Rodríguez, D. J., Sousa, M. C., Vicente, A. A., & Martins, J. T. (2016). Effect of chitosan–*Aloe vera* coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 88–97. doi:10.1016/j.postharvbio.2016.01.011
- Villar del Fresno, Á. M., & De las Heras, B. (2006). *Aloe vera*. *Farmacia Profesional*, 20(8), 64-67. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-aloe-vera-13092627>
- Vo, T.-S., & Kim, S.-K. (2014). Chitin and Its Beneficial Activity as an Immunomodulator in Allergic Reactions. En S.-K. Kim (Ed.), *Seafood Processing By-Products* (págs. 361-369). Springer, New York, NY. doi:10.1007/978-1-4614-9590-1_17
- Vuddanda, P. R., Montenegro-Nicolini, M., Morales, J. O., & Velaga, S. (2017). Effect of plasticizers on the physico-mechanical properties of pullulan based pharmaceutical oral films. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 96, 290–298. doi:10.1016/j.ejps.2016.09.01
- Wang, C. Y., Wang, S. Y., & Chen, C. (2008). Increasing Antioxidant Activity and Reducing Decay of Blueberries by Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 3587–3592. doi:10.1021/jf7037696

- Wang, S., Zhou, Q., Zhou, X., Zhang, F., & Ji, S. (2019). Ethylene plays an important role in the softening and sucrose metabolism of blueberries postharvest. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125965
- Wells Carpenter, A., François de Lannoy, C., & Wiesner, M. R. (2015). Cellulose Nanomaterials in Water Treatment Technologies. *Environmental Science & Technology*, 49(9), 5277–5287. doi:10.1021/es506351r
- Williams, A. R., Ramsay, A., Hansen, T. V., Ropiak, H. M., Mejer, H., Nejsum, P., . . . Thamsborg, S. M. (2015). Anthelmintic activity of trans-cinnamaldehyde and A- and B-type proanthocyanidins derived from cinnamon (*Cinnamomum verum*). *Scientific Reports*, 5(1). doi:10.1038/srep14791
- Williamson, G., & Manach, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 243S–255S. doi:10.1093/ajcn/81.1.243s
- Wu, J., Zhong, F., Li, Y., Shoemaker, C. F., & Xia, W. (2012). Preparation and characterization of pullulan–chitosan and pullulan–carboxymethyl chitosan blended films. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 82–91. doi:10.1016/j.foodhyd.2012.04.002
- Wu, Y., Li, S., Song, J., Jiang, B., Chen, S., Sun, H., & Li, X. (2018). Acetylated Distarch Phosphate/Chitosan Films Reinforced with Sodium Laurate-Modified Nano-TiO₂: Effects of Sodium Laurate Concentration. *Journal of Food Science*. doi:10.1111/1750-3841.14354
- Xing, Y., Xu, Q., Yang, S. X., Chen, C., Tang, Y., Sun, S., . . . Li, X. (2016). Preservation Mechanism of Chitosan-Based Coating with Cinnamon Oil for Fruits Storage Based on Sensor Data. *Sensors*, 16(7). doi:10.3390/s16071111
- Xing, Y., Yang, S., Xu, Q., Xu, L., Zhu, D., Li, X., . . . Bi, X. (2021). Effect of Chitosan/Nano-TiO₂ Composite Coating on the Postharvest Quality of Blueberry Fruit. *Coatings*, 11(512). doi:10.3390/coatings11050512
- Yamada, H. (1996). Contribution of pectins on health care. (J. Visser, & A. G. Voragen, Edits.) *Pectins and Pectinases*, 14, 173–190. doi:10.1016/s0921-0423(96)80254-1
- Yan, J., Li, Z., Zhang, J., & Qiao, C. (2012). Preparation and Properties of Pullulan Composite Films. *Advanced Materials Research*, 476-478, 2100-2104. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.476-478.2100
- Yao, L. H., Jung, Y. M., Shi, J., Tomás-Barberán, F. A., Datta, N., Singanusong, R., & Chen, S. S. (2004). Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(3), 113-122. doi:10.1007/s11130-004-0049-7
- Yong, H., & Liu, J. (2021). Active packaging films and edible coatings based on polyphenol-rich propolis extract: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 2106-2145. doi:10.1111/1541-4337.12697
- Yousef, G. G., Brown, A. F., Funakoshi, Y., Mbeunkui, F., Grace, M. H., Ballington, J. R., . . . Lila, M. A. (2013). Efficient Quantification of the Health-Relevant Anthocyanin and Phenolic

Acid Profiles in Commercial Cultivars and Breeding Selections of Blueberries (*Vaccinium* spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(20), 4806-4815. doi:10.1021/jf400823s

Yuen, S. (1974). Pullulan and its applications. *Process Biochem*, 9, 7-9.

Zam, W. (2019). Effect of Alginate and Chitosan Edible Coating Enriched with Olive Leaves Extract on the Shelf Life of Sweet Cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Food Quality*. doi:10.1155/2019/8192964

Zhang, J., Ma, S., Du, S., Chen, S., & Sun, H. (2019). Antifungal activity of thymol and carvacrol against postharvest pathogens *Botrytis cinerea*. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-019-03747-0