

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES

**RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN CON POTENCIAL APLICACIÓN EN
CONSERVACIÓN DE FRUTAS**

CAROLINA LEÓN VIRGÜEZ

DIRECTOR: RODRIGO ORTEGA TORO Ph.D.

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES

PROYECTO DE GRADO

MONOGRAFÍA

**RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN CON POTENCIAL APLICACIÓN EN
CONSERVACIÓN DE FRUTAS**

CAROLINA LEÓN VIRGÜEZ

DIRECTOR: RODRIGO ORTEGA TORO Ph.D.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVOS	7
2.1	General	7
2.2	Específicos	7
3	GENERALIDADES DEL ALMIDÓN	8
3.1	Producción de almidón a nivel mundial	8
3.2	Producción de almidón en Colombia	9
3.3	Características del almidón	10
3.4	Métodos de Producción de almidón	12
3.5	Almidones modificados	13
4	RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN	14
4.1	Plastificantes.	15
4.2	Métodos de obtención	15
4.3	Propiedades fisicoquímicas	16
4.4	Métodos de caracterización	16
4.4.1	Propiedades reológicas	17
4.4.2	Tensión superficial.....	17
4.4.3	Angulo de contacto	18
4.4.4	Permeabilidad al vapor de agua.....	18
4.4.5	Propiedades mecánicas.....	20
4.4.6	Análisis microestructural.....	20
4.5	Películas en frutas y hortalizas	20
5	RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES PROVENIENTES DE MEZCLAS ENTRE ALMIDÓN Y OTROS BIOPOLÍMEROS NATURALES.	23
5.1	Polisacáridos.....	23
5.1.1	Quitosano	23
5.1.2	Alginatos.....	24
5.1.3	Galactomananos.....	24

5.1.4	Carragenanos	24
5.2	Proteínas.	24
5.2.1	Gelatina	25
5.3	Lípidos.	25
5.4	Propólis o propóleo.....	26
6	RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN CON PROPIEDADES ACTIVAS.....	27
6.1	Compuestos activos naturales con potencial aplicación en recubrimientos comestibles	27
6.2	Recubrimientos comestibles con propiedades antimicrobianas	29
6.3	Recubrimientos comestibles con propiedades antioxidantes	31
7	RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN CON COMPUESTOS FISIOLÓGICAMENTE ACTIVOS	33
8	CONCLUSIONES	35
9	BIBLIOGRAFÍA	36

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente las exigencias del consumidor frente a la calidad e inocuidad de los productos de origen vegetal que encuentra en el mercado motivan el estudio y la aplicación de nuevas formas de conservación que generen efectos mínimos en las características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales del alimento y que permitan una mayor vida en anaquel. Gracias a los avances desarrollados en áreas complementarias, el uso potencial de recubrimientos comestibles ha cobrado interés al involucrar compuestos activos dentro de su matriz original, este tipo de compuestos genera un valor agregado que influye en la salud de los consumidores y que bajo condiciones de estabilidad en diferentes entornos ambientales podría llegar a convertirse en un producto masivo.

En Colombia se estima que las pérdidas poscosecha de frutas son alrededor del 30% (García *et al.*, 2011), en el caso de frutas como la guayaba, mora y mango se presentan daños durante su manipulación, por lo que se hace necesario emplear técnicas de recubrimiento para protegerlas e incrementar su vida útil. Una alternativa viable es el uso de recubrimientos biodegradables que cumplan una función protectora en el alimento y que a su vez contribuyan con la disminución del uso de embalajes sintéticos convencionales, de esta forma, se reduce el impacto ambiental y se protegen los recursos naturales logrando brindar un producto mínimamente procesado en las mejores condiciones al consumidor.

Las frutas y hortalizas en su estado fresco continúan los procesos de respiración aun después de ser empacadas, la vida útil del alimento es inversamente proporcional a la intensidad del fenómeno de respiración. Si el empaque que ha sido utilizado es altamente impermeable ocurre que la concentración de O_2 en el ambiente interior disminuye considerablemente con un aumento consecuente en la concentración de CO_2 , esta disminución podría provocar el inicio de la respiración anaeróbica que en las condiciones dadas generaría características desagradables al consumidor y un deterioro marcado del producto. Teniendo en cuenta los procesos metabólicos del alimento, hace varias décadas se inició el estudio del diseño de empaques y métodos de recubrimiento que permitan

controlar la influencia de diversos factores sobre el producto, de tal forma, que se garantice la prolongación de su vida útil y se disminuya la posibilidad de crecimiento de microorganismos y actividad enzimática que pudiera degenerar las propiedades organolépticas.

Los recubrimientos comestibles presentan cierta flexibilidad en cuanto a los compuestos que pueden ser mezclados en su fabricación, esta característica hace que pueda evaluarse la alternativa de incorporar compuestos activos que beneficien la salud del consumidor aportando agentes antioxidantes, vitaminas, minerales y otras sustancias fundamentales para la prevención de enfermedades. Diferentes autores han desarrollado estudios experimentales sobre frutos tradicionales y autóctonos usando como materia prima principal del recubrimiento un material versátil como el almidón (Enríquez, Velasco, & Fernandez, 2013;Dussán-Sarria, Reyes-Calvache, & Hleap-Zapata, 2014;Acosta, Fandiño, & Ante, 2012;Ruiz Aviles, 2005;Andrade, Acosta, Bucheli, & Osorio, 2014).

Bajo esta perspectiva se presenta la necesidad de realizar una revisión exhaustiva de los avances desarrollados en el área de estudio con el fin de brindar los fundamentos teóricos para posibles proyectos de innovación y aplicación en el país.

2 OBJETIVOS

2.1 General

- Elaborar un diagnóstico de los avances en recubrimientos comestibles a base de almidón con potencial aplicación en conservación de frutas y hortalizas.

2.2 Específicos

- Identificar y recopilar información sobre fuentes de almidón autóctonas de Colombia.
- Realizar un aporte al estado del arte de los recubrimientos comestibles a base de almidón, tanto de las mezclas con otros polímeros naturales como de aquellos que contienen compuestos activos.
- Determinar las potencialidades de productos naturales autóctonos de Colombia con concentración alta de compuestos activos en la elaboración de recubrimientos comestibles.

3 GENERALIDADES DEL ALMIDÓN

El almidón constituye la reserva energética de carbohidratos más relevante en las plantas, se almacena en semillas, frutos y raíces (Tester, Karkalas, & Qi, 2004), es uno de los carbohidratos más importantes en la alimentación humana debido a que representa una fuente fundamental de energía. Adicionalmente, el almidón cumple un papel importante en la tecnología alimenticia dadas sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, puede ser usado para aumentar la viscosidad de salsas, como agente estabilizante de emulsiones, como agente de relleno y como gelificante (Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, 2008).

Recientemente se ha incrementado el interés por la utilización de almidón en la formulación de recubrimientos comestibles, debido a que es un material que se obtiene de forma abundante a bajo costo y que provee un carácter biodegradable.

3.1 Producción de almidón a nivel mundial

En el mundo se producen alrededor de 20 millones de toneladas de almidón con fines industriales, según la FAO (Espinal & Martínez, 2005), un 10% de la producción mundial de almidón proviene de la yuca, tubérculo que se distingue por contener mayor contenido de almidón por peso seco que otros alimentos incluidos los cereales (Torres-Lozada, Marmolejo-Rebellón, & Cajigas-Cerón, 2014). A nivel regional, la producción de almidón más relevante corresponde a la de Brasil y Colombia (Mirada, Agroindustria, Almidón, & La, 2010).

3.2 Producción de almidón en Colombia

La industria de extracción de almidón tiene un papel importante en la industria colombiana, a nivel nacional se centra en cereales, raíces y tubérculos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014) y sus usos principales están orientados a la industria alimenticia e industria de adhesivos, aunque en las dos últimas décadas se ha impulsado el desarrollo de investigaciones que permitan mejorar el aprovechamiento de esta materia prima, explorando su aplicación en otras áreas como la de elaboración de materiales biodegradables (Enríquez et al., 2013). En Colombia, se encuentra producción de almidón de maíz, papa, yuca y trigo, sin embargo, la industria que predomina es la de almidón de yuca, para las demás fuentes mencionadas no es posible encontrar un desarrollo técnico avanzado ni un nicho de mercado importante. En la Tabla 1 se presentan algunas propiedades físicas de estos almidones que permiten ver el potencial de cada uno de ellos. El almidón de maíz, por ejemplo, presenta un alto contenido proteico que lo hace atractivo para la elaboración de productos alimenticios que requieran una matriz sólida rígida; el almidón de papa y el almidón de yuca se caracterizan por una baja tendencia a la retrogradación potencializando su uso como espesantes y estabilizantes de salsas. El almidón de trigo posee propiedades físicas que lo convierten en un aditivo versátil en la industria de alimentos, el almidón de yuca, aunque tiene un contenido moderado de amilosa, es ampliamente utilizado en el país para la elaboración de productos de panadería y como se verá en adelante, representa un material promisorio en la elaboración de empaques y recubrimientos fácilmente degradables.

Tabla 1. Propiedades físicas de importancia en cereales de origen nacional.

Propiedad	Almidón de maíz	Almidón de papa	Almidón de yuca	Almidón de trigo
Tamaño de granulo (μm)	2 - 30	5 - 100	4 - 35	2 - 55
Contenido de amilosa (%)	28	21	17	28
Temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)	62 - 80	58 - 65	52 - 65	52 - 85
Viscosidad relativa	Media	Alta	Alta	Baja
Tendencia a retrogradación	Alta	Baja	Media	Alta
Contenido de lípidos en	0.8	0.1	0.1	0.9

sólido seco (%)				
Contenido de proteínas en sólido seco (%)	0.35	0.08	0	0

Fuente: (Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, 2008)

En Colombia la principal región productora de almidón de yuca es el Departamento del Cauca, allí se concentra el 80% de la producción nacional (Acosta et al., 2012). También se encuentra una producción considerable de almidones de yuca, ñame y batata en el Departamento de Sucre (Chávez Salazar, 2015). Actualmente el almidón de mayor uso a nivel industrial proviene de maíz, papa, camote y yuca (Chávez Salazar, 2015)

La extracción de almidón de yuca se realiza artesanalmente en gran parte de las regiones productoras, sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el interés en la estandarización del proceso a nivel industrial.

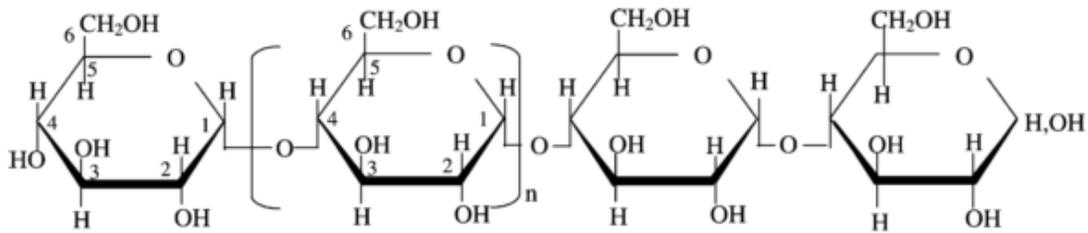
Para el año 2015 la exportación de almidón de yuca alcanzó las 725 toneladas, mientras que la importación se redujo a 2778 Toneladas teniendo en cuenta el valor alcanzado para el año anterior (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014). En el plan de acción propuesto por el gobierno nacional para la cadena agroindustrial de yuca, se destaca el aprovechamiento de almidón para el desarrollo de nuevas tecnologías en empaques biopoliméricos.

3.3 Características del almidón

El almidón está compuesto principalmente por dos tipos de polímeros que corresponden a unidades de α – D – glucosa, la amilosa y la amilopectina. Los almidones que se encuentran de forma natural en las plantas, contienen entre 70 y 75% de amilopectina, el porcentaje de los dos polisacáridos presentes en la molécula de almidón depende principalmente de su origen botánico (Tester et al., 2004). Sin embargo, es posible encontrar composiciones modificadas gracias a los avances en biotecnología vegetal (Biliaderis, 2009). La amilosa y la amilopectina pueden formar hélices dobles que dominan la forma cristalina del almidón (Tester et al., 2004).

Las moléculas de amilosa se ubican en la parte interna del granulo de almidón, pueden contener entre 200 y 20.000 unidades de glucosa unidas mediante enlaces glicosídicos α -1,4. Aunque algunas moléculas pueden presentar ramificaciones, estas no superan el 0.5% de la totalidad de enlaces, por lo que convencionalmente presentan la estructura de un polímero lineal que confieren propiedades de rigidez y fuerza (Perdomo et al., 2008). La amilosa dispuesta en agua caliente forma suspensiones coloidales.

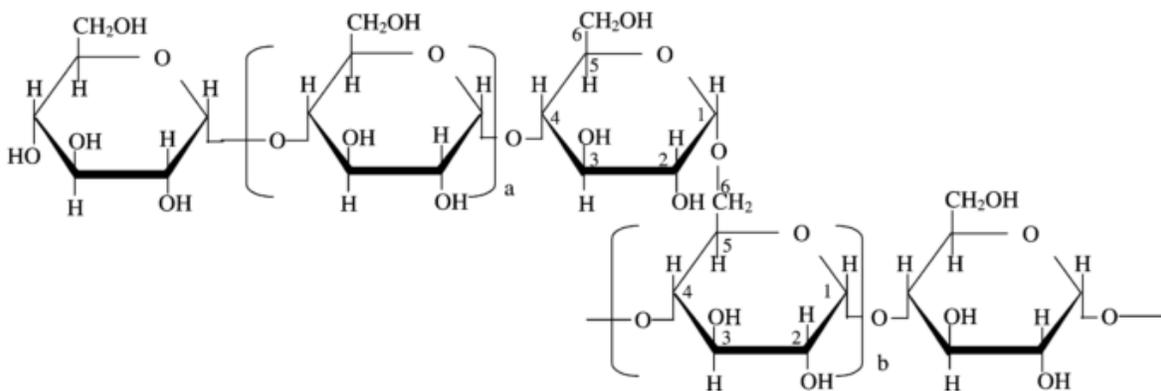
Figura 1. Molécula lineal de Amilosa



Fuente: (Tester et al., 2004)

Las moléculas de amilopectina contienen enlaces α -1,4 y α -1,6, pueden contener entre 10.000 y 20.000.000 unidades de glucosa. Generalmente contiene ramificaciones que pueden llegar a ser hasta el 5% de los enlaces totales (Zhu, 2015). A diferencia de la amilosa, es insoluble en agua caliente.

Figura 2. Molécula de amilopectina



Fuente: (Tester et al., 2004)

La amilosa y amilopectina se encuentran empaquetadas dentro de los gránulos de almidón, cuando los gránulos son calentados en presencia de agua y condiciones controladas, se

hinchán y comienzan un proceso en el que la estructura laminar y el ordenamiento molecular se pierden con un consecuente aumento de viscosidad, este proceso se conoce como gelatinización y obedece a un cambio de fase. La temperatura a la cual se inician estos cambios en el almidón se conoce como temperatura de gelatinización y dependiendo del origen del carbohidrato varía entre 60 y 70°C normalmente (Tester et al., 2004).

3.4 Métodos de Producción de almidón

Se ha mencionado que el proceso de extracción de almidón en el país se da en pequeña escala de rallanderías familiares o artesanales, ya sea en este nivel o en uno más tecnificado, las principales etapas continúan siendo las mismas. Para el caso de la extracción de almidón de yuca, que representa el de mayor producción a nivel nacional, el proceso contiene seis etapas consecutivas que se describen a continuación:

Lavado y pelado: Inicialmente, las raíces de yuca que se transportan a la planta son lavadas y peladas dentro de las primeras 48 horas con el fin de evitar algún tipo de deterioro fisiológico o ataque microbiológico.

Rallado: Se realiza el rallado de las raíces buscando liberar los gránulos del almidón de la matriz del tubérculo, la eficiencia de esta operación determinará el rendimiento del proceso. El material rallado está en contacto con un riego de agua que genera una lechada encargada de arrastrar el almidón suspendido.

Filtración: El objetivo de esta etapa es separar el afrecho de la lechada, el afrecho está compuesto por materia orgánica vegetal, fibra, entre otros materiales originales de la yuca que constituyen un subproducto del proceso.

Sedimentación: La lechada se deposita en tanques de sedimentación, donde el almidón desciende acumulándose en el fondo del tanque, este proceso puede tardar entre 8 y 12 horas. Pasado este tiempo, el sobrenadante es eliminado por desagüe arrastrando aun algunas partículas de almidón.

Secado: El almidón recolectado se seca por exposición a luz solar hasta lograr un porcentaje de humedad aproximado del 12%, si se trata de un proceso más tecnificado, es

posible usar un secador convectivo para obtener humedades aún más bajas mediante flujos de aire caliente.

Molienda y tamizado: El almidón seco se trata en un molino para desintegrar las aglomeraciones o compactaciones que se hayan podido formar y luego es tamizado con el fin de determinar su granulometría (Alarcón & Dufour, 1998).

3.5 Almidones modificados

El almidón nativo posee un alto nivel de retrogradación, es proclive a la descomposición térmica y presenta alto grado de dilución en presencia de agua debido a su carácter hidrofílico (Vieira, Da Silva, Dos Santos, & Beppu, 2011), por esta razón, en algunas ocasiones, la aplicación industrial del almidón requiere que su estructura sea previamente modificada con el fin de potencializar su función o hacerlo compatible con otros compuestos (Shrestha & Halley, 2014). La modificación del almidón puede realizarse por vía física o química, en la primera alternativa, se llevan a cabo las siguientes etapas: pregelatinización, molienda y enfriamiento. Algunos métodos de modificación química son la hidrolización ácida, oxidación, dextrinización o entrecruzamiento (Colivet & Carvalho, 2017).

El proceso de modificación enzimática permite disminuir el tamaño de las moléculas del almidón, lo que tiene un impacto directo en la viscosidad de las emulsiones y genera pastas translúcidas, estables a cambios térmicos o de pH y de alta consistencia (Enríquez et al., 2013). Durante la hidrólisis los enlaces glucosídicos se rompen generando cadenas más cortas y recombinación de los grupos hidroxilos.

4 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN

Un recubrimiento comestible se define como una delgada capa de material que se dispone sobre la superficie de un alimento con el fin de proveer una barrera a la migración de gases, aumentar las percepciones sensoriales, ejercer una protección microbiana y en definitiva, alargar la vida útil del producto alimenticio (Galus & Kadzinska, 2015; Quintero, C. J., ; Falguera & Quintero, C. Juan.I; Falguera, Víctor.II; Muñoz, 2010). Los recubrimientos comestibles se aplican de forma líquida sobre el alimento, a diferencia de las películas comestibles cuya presentación es sólida en la mayoría de los casos (Casariego et al., 2008).

Dentro de los materiales que la naturaleza provee para la fabricación de películas comestibles, el almidón destaca por su abundancia, bajo costo y posibilidad de renovación (Basiak, Lenart, & Debeaufort, 2017). El uso de almidón en la producción de bioplásticos, está relacionado con su capacidad de procesamiento, los gránulos de almidón en estado semicristalino no poseen las propiedades óptimas para generar un material con propiedades mecánicas adecuadas, no obstante, si los gránulos se transforman en una matriz amorfa homogénea, la viabilidad de su uso se incrementa. Esto se hace mediante la gelatinización de los gránulos de almidón y la presencia de un plastificante. Una mayor presencia de moléculas de amilosa aumenta la opacidad y el grosor de las películas, mientras que una menor presencia genera filmes traslucidos y más delgados (Basiak et al., 2017).

Los recubrimientos a base de almidón generalmente no presentan un sabor, olor ni color característico, por lo que al ser usados sobre una matriz alimenticia no alterarían el perfil sensorial de esta (Ancos, 2015).

La aplicación del almidón como material bioplástico requiere principalmente la transformación de la estructura semicristalina en una matriz homogénea amorfa, de esta forma se obtiene un material manejable que permita el moldeo de una película o recubrimiento (Dias, Müller, Larotonda, & Laurindo, 2010). Las desventajas de los almidones nativos pueden superarse mediante transformaciones fisicoquímicas que permitan obtener un material más atractivo y versátil para la industria.

4.1 Plastificantes.

La generación de un biopolímero con propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia adecuadas, no puede darse únicamente a base de almidón, se requiere la adición de un agente plastificante para que permita mayor movilidad molecular y cree cohesión entre las cadenas de los polímeros (Han & Aristippos, 2005).

Los plastificantes son compuestos que poseen moléculas pequeñas de bajo peso molecular, tienen baja volatilidad y son el segundo ingrediente más importante en la elaboración de un biopolímero, su configuración química les permite generar puentes de hidrógeno con las cadenas poliméricas disminuyendo la rigidez de las películas y la posibilidad de fractura, por esta razón son los responsables de la flexibilidad de la matriz (Bertuzzi, Armada, & Gottifredi, 2007). Entre los plastificantes más usados se encuentran el glicerol, sorbitol y maltiol (Colivet & Carvalho, 2017).

4.2 Métodos de aplicación sobre las matrices alimentarias

Dentro de los métodos de aplicación del recubrimiento comestible sobre la matriz alimenticia, se encuentran inmersión, aspersión y dispersión. En la inmersión, el alimento es sumergido en la solución con el producto biodegradable, de tal forma que toda la superficie entre en contacto, el exceso de producto se retira por drenaje y el alimento se deja secar con el fin de que el solvente se remueva por evaporación y el recubrimiento adquiera la rigidez requerida (Baldwin et al., 2011). El espesor de la película estará determinado por la densidad, viscosidad y tensión superficial de la solución de recubrimiento (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh, & Masoudpour-Behabadi, 2016). El uso de esta técnica se extiende a frutas, verduras, hortalizas y algunos productos cárnicos (Galus & Kadzinska, 2015; Rojas-Graü, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2009).

La aplicación por aspersión o atomización se usa con soluciones de baja viscosidad (Bezerra, Aquino, Fitzgerald, Cristina, & Aquino, 2015), consiste en recubrir la superficie expuesta de un alimento mediante un spray que distribuya gotas microscópicas de la solución, se pueden obtener tamaños de gota de hasta 20 micrómetros por la técnica

tradicional, o tamaños del orden de 100 nanómetros usando electro spray (Tavassoli-Kafrani et al., 2016). Esta técnica permite lograr un espesor más homogéneo que el que se alcanza por el método de inmersión.

El método de dispersión consiste en esparcir la solución del recubrimiento sobre la superficie de la matriz alimenticia, se realiza usando una brocha o cepillo (Tavassoli-Kafrani et al., 2016).

4.3 Propiedades fisicoquímicas

Las principales características de eficiencia evaluadas en un recubrimiento comestible están relacionadas con la permeabilidad al vapor de agua y otros gases, la humectabilidad, la adherencia y la cohesión (Ribeiro, Vicente, Teixeira, & Miranda, 2007). Todos estos factores dependen a su vez de un gran número de variables, como son, la formulación del material biopolimérico, el plastificante utilizado, el tipo de disolvente y las condiciones de procesamiento (Vieira et al., 2011).

Dada la importancia de la configuración estructural del granulo de almidón en su aplicación industrial, se aplican diversas técnicas de análisis físico entre las que se encuentran, microscopía óptica, microscopía electrónica, difracción de rayos X, etc (Biliaderis, 2009).

Debido a que uno de los principales objetivos de las películas comestibles, es alargar el tiempo de vida útil del alimento, es pertinente realizar un análisis de su comportamiento en condiciones típicas de almacenamiento, por ejemplo, a bajas temperaturas. Gutiérrez y colaboradores estudiaron el comportamiento mecánico por debajo de 0°C de películas elaboradas con almidón de yuca, usando glicerol como plastificante y sorbato de potasio como agente antimicrobiano. Principalmente se observó el efecto de la concentración de sorbato y de la acidez del sistema sobre el Tg de la película, el estudio concluyó que la adición de sorbato podría tener un posible efecto plastificante (Gutiérrez, Morales, Tapia, Pérez, & Famá, 2015) .

4.4 Métodos de caracterización.

Cuando se caracteriza un recubrimiento comestible, es posible cometer la imprecisión de aplicar los protocolos tradicionales de evaluación de películas comestibles, que a su vez provienen en su mayoría de técnicas de análisis aplicadas a un polímero convencional (Vieira et al., 2011); por esta razón, muchos análisis deben remitirse a la solución formadora del recubrimiento, sus características, de cierta forma, permiten predecir el comportamiento final del recubrimiento una vez es aplicado sobre el alimento de interés. Los métodos de caracterización utilizados comprenden una amplia gama de técnicas enfocadas en la evaluación de estas características, a continuación, se describen las más utilizadas y su fundamento teórico.

4.4.1 Propiedades reológicas

La viscosidad de la solución formadora determinará no solamente la estabilidad del recubrimiento sino la técnica que se seleccionó para su aplicación (Navarro, 2010), por ello se establece la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad mediante la Ley de Potencia que se rige por la siguiente ecuación:

$$\sigma = K \gamma^n$$

Donde:

$\sigma =$ *Esfuerzo cortante*

$K =$ *Índice de consistencia*

$\gamma =$ *Gradiente de velocidad*

$n =$ *Índice de comportamiento al flujo*

4.4.2 Tensión superficial

La extensibilidad de un recubrimiento sobre la matriz alimenticia dependerá inversamente de la tensión superficial de la solución formadora, una tensión superficial de la solución menor que la de la superficie sobre la cual se va a aplicar garantiza un esparcimiento homogéneo sin mayor resistencia (Casariego et al., 2008). La determinación se realiza mediante el “método de la gota suspendida” (Galus & Kadzinska, 2015) descrita por la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{g\Delta\rho d_e^2}{H}$$

Donde:

γ = Tensión superficial

$\Delta\rho$ = Diferencia de densidad entre la fase líquida (gota) y la fase gaseosa (aire)

d_e = Diámetro ecuaorial de la gota

g = Aceleración de la gravedad

H = Factor de corrección

4.4.3 Angulo de contacto

El ángulo de contacto determina la adherencia e hidrofobicidad del recubrimiento sobre la superficie de la matriz, valores muy bajos aseguran la máxima extensibilidad de la película (Casariego et al., 2008). El equipo utilizado se denomina goniómetro, debe garantizarse una temperatura constante.

4.4.4 Permeabilidad al vapor de agua.

La permeabilidad al agua o capacidad del material de empaque para permitir el paso del agua en forma de vapor, es una de las características determinantes en la función de la película biodegradable, la migración de agua entre el alimento y el ambiente que lo circunda

afecta su tiempo de vida útil y sus características organolépticas, el contenido de agua está directamente relacionado con reacciones de pardeamiento, oxidación lipídica, actividad enzimática y cambios en la textura (Sothornvit & Krochta, 2005). Por esta razón, un campo de estudio importante se centra en el diseño del modelo de transferencia de masa (De Oliveira Romera, De Moraes, Zoldan, Pasa, & Laurindo, 2012).

La permeabilidad del vapor de agua a través de una película de recubrimiento obedece simultáneamente a las leyes de Fick para la difusión y de Henry para la solubilidad (Bertuzzi, Castro Vidaurre, Armada, & Gottifredi, 2007). La combinación de factores obedece a la siguiente ecuación propuesta en 1994 por McHugh y Krochta:

$$PVA = \frac{V_T}{P_{w1} - P_{w2}} L$$

Donde:

PVA = Permeabilidad al vapor de agua

V_T = Velocidad de transmisión del vapor de agua (gm²/s)

P_{w1} = Presión parcial del vapor de agua en la superficie interior de la película (Pa)

P_{w2} = Presión parcial del vapor de agua en la superficie exterior de la película (Pa)

L = Espesor de la película (m)

Para evaluar la velocidad de transmisión del vapor de agua se evalúa la pendiente de la curva que describe la pérdida de peso en función del tiempo y se relaciona de forma inversa con el área efectiva de transferencia de vapor de agua (Navarro, 2010).

Varios estudios utilizan la técnica gravimétrica *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials ASTM E96 / E96M – 16* para la determinación de permeabilidad al vapor de agua (Arvanitoyannisa, Nakayama, & Aibab, 1998; Casariego et al., 2008; De Oliveira Romera et al., 2012; Mali, Sakanaka, Yamashita, & Grossmann, 2005). Es posible correlacionar la temperatura variando las condiciones térmicas para cada ensayo, Bertuzzi y colaboradores encontraron que el proceso de absorción de vapor es de tipo exotérmico y que el transporte de vapor de agua se facilita en ambientes con humedad relativa superiores al 50% (Bertuzzi, Castro Vidaurre, et al., 2007).

4.4.5 Propiedades mecánicas

En un recubrimiento, las propiedades mecánicas de interés tienen que ver con la cohesión del material biodegradable, en otras palabras, están relacionadas con la capacidad de formación de uniones moleculares entre las cadenas poliméricas y la fortaleza que estas brindan a la película. En este punto se determinan la capacidad de deformación, la fuerza de tensión máxima a la rotura y el Módulo de elasticidad de Young (Ancos, 2015).

4.4.6 Análisis microestructural

Este análisis tiene como objetivo evaluar la estructura interna del material, evidenciar si existe separación de fases o los cambios inducidos al usar diferentes formulaciones, se usa Microscopía Electrónica de Barrido para observar la sección transversal de las películas (Han & Aristippos, 2005), en el caso de los recubrimientos, es posible preparar la emulsión y secarla sobre una superficie que no necesariamente es la de un alimento, de esta forma se puede realizar el corte transversal que requiere esta técnica.

4.5 Recubrimientos en frutas y hortalizas

Para entender el papel de los recubrimientos comestibles como materiales protectores de frutas y hortalizas, es necesario mencionar inicialmente algunos atributos importantes en la calidad de estos alimentos y los factores que podrían afectarlos durante la cosecha y poscosecha.

La calidad de frutas y hortalizas en estado fresco y mínimamente procesadas se caracteriza por presentar condiciones óptimas en cuanto a apariencia, color, textura, sabor y valor nutricional (Moncayo, Buitrago, & Algecira, 2013). La apariencia está relacionada con el aspecto general del alimento, la uniformidad en su superficie, la ausencia de golpes, cortes o daños mecánicos y su brillo. El color es característico de cada fruto, sin embargo, un pardeamiento visible generado por acción enzimática al contacto directo con oxígeno, se asocia con baja calidad del producto.

La textura está relacionada con la estructura física del tejido y su estabilidad al tacto, un tejido muy blando podría significar daños mecánicos, así como un tejido excesivamente rígido indicaría pérdida de jugosidad. La migración de vapor de agua entre el alimento y los alrededores determinará las características de fibrosidad del tejido vegetal incidiendo sobre la textura esperada (Ruiz Aviles, 2005) . En cuanto al sabor, se ve influenciado por diversos factores, como la concentración de azúcares, nivel de acidez y el desarrollo de compuestos aromáticos.

Finalmente, la calidad de las frutas y hortalizas está fuertemente determinada por posibles agentes microbianos contaminantes, por ejemplo, presencia de hongos, microorganismos patógenos o factores toxicológicos.

Todos estos atributos que han sido mencionados, varían en relación con los factores bajo los cuales se desarrolle la cosecha, debido a esto el profesional en agronomía debe garantizar las condiciones adecuadas para que el alimento reciba los estímulos suficientes e indicados durante su crecimiento. Sin embargo, como es sabido, el alimento tiene un largo camino que recorrer hasta la mesa del consumidor, los cambios que experimente dependerán del manejo postcosecha que se le brinde.

Durante la postcosecha el alimento es proclive a sufrir daños fisiológicos generados por un control inadecuado de la temperatura y la humedad relativa en el entorno de almacenamiento, una elevada temperatura aumenta la velocidad de respiración generando aumento en la producción del gas etileno, lo que conlleva a modificaciones en las propiedades organolépticas de las frutas y hortalizas debidas a un proceso de maduración acelerado. Por otro lado, la exposición de las frutas y hortalizas en ambiente insalubres, promueven el crecimiento microbiano y la descomposición por acción de microorganismos.

Bajo este panorama, los recubrimientos comestibles se presentan como una opción promisoría para garantizar las condiciones de calidad de frutas y hortalizas durante los tratamientos postcosecha e inclusive bajo condiciones de mínimo procesamiento. Los recubrimientos comestibles cumplen funciones específicas cuando son aplicados en frutas y hortalizas en estado fresco o mínimamente procesadas, en primer lugar, proporcionan una barrera contra la pérdida de humedad disminuyendo así la indeseable pérdida de peso que se presenta durante el almacenamiento. Adicionalmente, los recubrimientos actúan como una barrera a la migración de gases entre el producto y el ambiente circundante, retardando así los procesos respiratorios y en consecuencia ralentizando el deterioro del

producto. Esta misma barrera gaseosa limita el intercambio de compuestos volátiles con el ambiente, manteniendo las cualidades organolépticas deseadas e impidiendo simultáneamente el ingreso de compuestos externos que puedan generar un aroma indeseable.

Por último, los recubrimientos representan un mecanismo efectivo de transporte para algunos ingredientes funcionales que contribuyan a mantener o mejorar la calidad de las frutas y hortalizas, tal es el caso de agentes antimicrobianos, antioxidantes, nutraceúticos, realzadores de color, entre otros.

5 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES PROVENIENTES DE MEZCLAS ENTRE ALMIDÓN Y OTROS BIOPOLÍMEROS NATURALES.

Los principales materiales de origen natural usados para la producción de recubrimientos comestibles, se encuentran entre los polisacáridos, las proteínas y los lípidos. A continuación, se describen las particularidades de cada una de estas categorías.

5.1 Polisacáridos

Entre los polisacáridos se encuentra el almidón y sus derivados, derivados de celulosa, alginatos, carragenanos, quitosano y pectina principalmente (Han & Aristippos, 2005). Las cadenas poliméricas de estos compuestos poseen altos pesos moleculares y en algunos casos un número importante de grupos hidroxilo que influirá sobre la formación de la película y su comportamiento ante diferentes condiciones de acidez (Han & Aristippos, 2005).

5.1.1 Quitosano

Es un polisacárido catiónico proveniente de la quitina contenida en el exoesqueleto de los crustáceos. Además de su alto peso molecular, el quitosano presenta alta actividad antibacteriana, antifúngica y antioxidante (Vásconez, Flores, Campos, Alvarado, & Gerschenson, 2009; Casariego et al., 2008). Películas elaboradas con alguna proporción de quitosano presentan permeabilidad selectiva al Oxígeno y al dióxido de Carbono (Vásconez et al., 2009; Romero-Bastida, Zamudio-Flores, & Bello-Pérez, 2011), sin embargo, su alta permeabilidad al vapor de agua limita su uso en las formulaciones de películas. Las propiedades mecánicas de películas formuladas con quitosano son adecuadas según estudios realizados recientemente (Vásconez et al., 2009).

La combinación quitosano – almidón permite controlar las desventajas de usar uno solo de estos biomateriales gracias a la interacción entre los grupos hidroxilo del almidón y los grupos amino presentes en el quitosano (Ancos, 2015).

5.1.2 Alginatos

Los alginatos son sales del ácido algínico, es un polímero lineal conformado por monómeros de ácido D – manurínico y L – gulurónico. La estructura molecular del alginato le permite reaccionar con cationes divalentes o trivalentes, lo que le confiere un potencial como transportador de compuestos activos que puedan ser compatibles electrónicamente (Tavassoli-Kafrani et al., 2016).

5.1.3 Galactomananos

Son compuestos hidrocoloides que se extraen de semillas dicotiledóneas de varias plantas (Galgano, Condelli, Favati, & Condelli, 2016), están constituidos por monómeros de manosa galactosa. Los galactomananos generan soluciones de alta viscosidad con muy bajas concentraciones (Galus & Kadzińska, 2015) por esta razón, son usados como espesantes y estabilizantes en la industria de alimentos (Moncayo et al., 2013).

5.1.4 Carragenanos

Corresponden a polisacáridos presentes en algas rojas de la familia *Rhodophyceae*. Están formados por unidades de galactosa y anhidrogactosa, que pueden estar sulfatadas o no, la longitud de las cadenas determina la utilidad como gelificante. Son solubles en agua caliente y se mantienen diluidos al enfriarse (Tavassoli-Kafrani et al., 2016).

5.2 Proteínas.

Las proteínas se definen como macromoléculas constituidas por secuencias de aminoácidos, Las proteínas de origen vegetal más usadas como material biodegradable

son la proteína de maíz, de trigo y de soya (Fernández, Echeverría, Mosquera, & Paz, 2017)(Galus & Kadzińska, 2015). Las proteínas de origen animal investigadas actualmente, son las derivadas de la leche como el suero y la caseína (Moncayo et al., 2013), y el colágeno (Aroca, Regalado, Acosta, & Científico, 2018).

Las películas formuladas con proteínas, ya sea de origen animal o vegetal, se caracterizan por brindar mejores propiedades mecánicas (Podshivalov, Zakharova, Glazacheva, & Uspenskaya, 2017; Martirosyan & Schneider, 2014; Ganiari, Choulitoudi, & Oreopoulou, 2017; Falguera, Quintero, Jiménez, Muñoz, & Ibarz, 2011), la mezcla entre un compuesto de origen proteico y un carbohidrato en solución puede generar diferentes comportamientos de acuerdo con el tipo de interacción que se promueva entre las moléculas, la estabilidad de un recubrimiento proveniente de ésta mezcla dependerá entre otros factores de la temperatura de secado, el pH, de la proporción de amilosa y amilopectina, entre otros (Podshivalov et al., 2017).

5.2.1 *Gelatina*

La gelatina es una proteína que proviene del colágeno animal, es soluble en agua y en gran parte de los disolventes orgánicos (Fernández et al., 2017). Posee una acción gelificante que le permite formas películas flexibles, resistentes, biodegradables y con alta permeabilidad al oxígeno (Podshivalov et al., 2017).

5.3 Lípidos.

Los lípidos se catalogan como biomateriales comestibles (Han & Aristippos, 2005), poseen estructura sólida en temperaturas ambiente y son generalmente fáciles de moldear. Son compuestos hidrofóbicos lo que confiere una alta resistencia al agua a las películas o recubrimientos que los contengan (Han & Aristippos, 2005). Por sí mismos no pueden generar una película biodegradable, sin embargo, al ser agregados a mezclas de carbohidratos y proteínas, mejoran la flexibilidad y las propiedades de barrera (Ortega-Toro, Jiménez, Talens, & Chiralt, 2014; Bertuzzi, Castro Vidaurre, et al., 2007; Ganiari et al., 2017).

La forma en que los lípidos se asocian con materiales hidrofílicos es mediante una emulsión, es posible desarrollar películas basadas en emulsiones con buena resistencia mecánica (Slavutsky & Bertuzzi, 2015).

5.4 Propólis o propóleo.

El propóleo es una sustancia resinosa fabricada por las abejas para recubrir la colmena y así protegerla de bacterias y hongos (Moreno et al., 2014). La actividad antibacterial del propóleo se atribuye a su alto contenido de flavonoides, se ha probado el efecto inhibitorio frente a bacterias presentes en los alimentos de los tipos *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* (Rebaza et al., 2016), por lo que representa un material novedoso con gran potencial en la fabricación de recubrimientos comestibles activos.

6 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN CON PROPIEDADES ACTIVAS

Actualmente la nanotecnología provee numerosas herramientas con directa aplicación en la industria de alimentos, una de las áreas con mayor utilidad es la fabricación de nanoemulsiones comestibles con uso potencial en recubrimiento de alimentos. Las nanoemulsiones se definen como emulsiones cuyo tamaño de gota se encuentra entre los 10 y los 100 nanómetros, debido a su gran estabilidad representan una opción para el transporte de ingredientes activos como antioxidantes, antimicrobianos, precursores de sabor, aceites esenciales, entre otros (Salvia-Trujillo, Rojas-Graü, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2015).

6.1 Compuestos activos naturales con potencial aplicación en recubrimientos comestibles

Los aceites esenciales son compuestos naturales de alta volatilidad responsables del olor de algunas plantas, su importancia radica en las propiedades antimicrobianas y antioxidantes que se les ha adjudicado (Song, Zuo, & Chen, 2018). Se ha estudiado ampliamente su incorporación en películas biopoliméricas comestibles, especialmente el efecto de su incorporación en las propiedades mecánicas del material.

En la revisión desarrollada por Regiane Ribeiro-Santos, se estudia el uso de aceites esenciales en empaques activos para alimentos, el objetivo común, es la reducción del uso de aditivos sintéticos con fines antimicrobianos y antioxidantes. Regiane y colaboradores encuentran cerca de 21 estudios que incorporan aceites esenciales de orégano, cinamon, y limón entre otros, en los que se encuentran composiciones óptimas que permiten asegurar a la estabilidad de la película y garantizar las propiedades de barrera necesarias. También se analiza el fenómeno de migración de los compuestos activos desde el empaque hacia el alimento, concluyendo que la transferencia de masa entre fases es posible. Teniendo en cuenta que estudios desarrollados por Dahhamet al. (2016), Ocaña – Fuentes (2010) y Razzagui –Abyaneh (2008), atribuyen actividades anti metastásicas, antiinflamatorias y anti diabéticas a los aceites de agra, orégano, satureja y limón, entre otros, se abre un

panorama extenso de estudio en la incorporación de aceites esenciales en películas comestibles con fines funcionales. Aunque es primordial tener en cuenta que tales estudios deben contemplar la regulación de cada país en cuanto a la cantidad de aditivos naturales permitidos, así como la revisión de las entidades médicas encargadas de certificar los beneficios en la salud de tales compuestos.

En 2016 se evalúa el efecto de la adición de extracto de propóleo en películas de quitosan, el propóleo es reconocido por sus efectos antibacterial, y antiinflamatorio, entre otros (Siripatrawan & Vitchayakitti, 2016). Los ensayos permiten concluir que las propiedades mecánicas de las películas mejoran debido a las interacciones entre grupos funcionales de los aditivos, de igual forma, las actividades antimicrobianas y antioxidantes aumentan.

Uno de los estudios más completos ha sido desarrollado por Tapia y colaboradores, en él se analiza el uso de alginato y gellan con adición de ácido ascórbico en la elaboración de recubrimientos para papaya recién cortada. Se evaluaron específicamente la tasa de respiración, la producción de etileno, los cambios en la textura y el contenido de ácido ascórbico; en conclusión, se encuentra una mejoría en las propiedades de barrera y un aumento en la firmeza del material (Tapia et al., 2008). Se recomienda profundizar en el estudio de la migración de los ingredientes, específicamente el ácido ascórbico hacia la papaya, pues este fenómeno podría aumentar la composición de la fruta y sentar la base para ensayos que potencialicen los recubrimientos como vehículos de nutrientes, vitaminas o ácidos que presenten beneficios para la salud.

Shin-Jie Lin y Melvin A. Pascall incorporaron Vitamina E en películas elaboradas con quitosan, y determinaron la solubilidad y las propiedades térmicas asociadas al secado. Los resultados muestran que la vitamina se incorporó de forma adecuada en la matriz polimérica disminuyendo el tiempo de secado de esta, sin embargo, la solubilidad de la película se ve comprometida de acuerdo al orden de mezcla del nutriente (Lin & Pascall, 2014).

En 2016, Oleyaei et al. reportan el uso de óxidos metálicos con el fin de mejorar las propiedades funcionales de películas biodegradables, particularmente usaron dióxido de Titanio, encontrando que las películas presentaban una mayor absorbancia de luz ultra visible, así como mayor resistencia ante cambios de temperatura.

6.2 Recubrimientos comestibles con propiedades antimicrobianas

Un recubrimiento comestible, además de reducir la velocidad de respiración de un producto, podría también contribuir con una defensa antimicrobiana o antifúngica, especialmente si se habla de un producto en estado fresco (Vásconez et al., 2009). La incorporación de sustancias antimicrobianas puede ser de origen sintético o natural, sin embargo, esta última resulta de mayor interés al tratarse de un recubrimiento que se ingiere simultáneamente con el alimento; la acción de diferentes sustancias naturales sobre la membrana plasmática de hongos y bacterias, ha incrementado el número de ensayos en los que se involucran ácidos orgánicos, aceites esenciales y algunas sales como aditivos que confieren propiedades activas al recubrimiento (Ávila-Sosa, R; López-Malo, 2008).

La compatibilidad entre el almidón y agentes microbianos ha sido comprobada por varios estudios recientes, Shen et al, encontraron que la adición de sorbato de Potasio en un 5% a la formulación de películas a base de almidón de batata y quitosano, detuvo por completo el crecimiento de la bacteria *E. coli* y mantuvo unas buenas propiedades mecánicas, aunque se disminuyó la efectividad de la barrera (Shen, Wu, Chen, & Zhao, 2010). En la Tabla 2 se presenta un sumario de estudios recientes relacionados con la adición de un agente antimicrobiano.

Tabla 2. Incorporación de compuestos antimicrobianos en matrices biopoliméricas comestibles

COMPUESTOS ANTIBACTERIANOS				
Compuesto antimicrobiano	Biomaterial	Matriz	Posible funcionalidad	Referencias
Aceite esencial de limoncillo	Alginato de Sodio	Manzanas Fuji recién cortadas	Aumento en la inactivación de <i>Escherichia Coli</i>	(Salvia-Trujillo et al., 2015)
Benzoato de Sodio	Hidroxipropilmetilcelulosa	Tomates cherry	Disminución de la mancha negra de <i>Alternaria alternata</i>	(Fagundes, Palou, Monteiro, & Pérez-Gago, 2015)
Aceite esencial de canela	Almidón de plátano		Actividad antimicrobiana en <i>Listeria innocua</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> , disminuye la permeabilidad al vapor de agua	(Romero-Bastida et al., 2011)

COMPUESTOS ANTIBACTERIANOS

Gel de Aloe Vera	Almidón		Control de la descomposición por hongos <i>Fusarium oxysporum</i> y pérdida de peso. Reducción de la permeabilidad al vapor	(Ortega-Toro, Collazo-Bigliardi, Roselló, Santamarina, & Chiralt, 2017)
Sorbato de Potasio	Almidón de tapioca	Modelo semisólido	Alta integralidad del recubrimiento y efecto positivo sobre <i>Zygosaccharomyces bailii</i>	(Espinel Villacrés, Flores, & Gerschenson, 2014)
Oliva, romero, cebolla, pimienta, arándano, ajo y orégano	Quitosano, carboximetilcelulosa y caseína	Calabazas	Oliva y romero presentan actividad microbiana significativa ante <i>Listeria monocytogenes</i>	(Ponce, Roura, del Valle, & Moreira, 2008)
Cacao	Copolímero de etileno-alcohol vinílico	Células de adenocarcinoma colorrectal epitelial humano Caco-2	Efecto bactericida sobre <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia Coli</i> y <i>Salmonella</i>	(Calatayud et al., 2013)
Sorbato de Potasio	Almidón de batata		Se aumenta la permeabilidad al oxígeno y se reduce la resistencia a la tracción con efecto positivo sobre <i>Escherichia coli</i> . <i>Staphylococcus aureus</i>	(Shen et al., 2010)
<i>Lippia gracilis</i>	Almidón de yuca - quitosano	Guayaba	Se produce un descenso en el número de bacterias aerobias mesófilas y en el recuento de moho y levadura	(Bezerra et al., 2015)
<i>Myrcia ovata</i>	Almidón de yuca - quitosano	Mangabas	Se reduce la microflora natural y se inhibe <i>Bacillus cereus</i> que fue artificialmente contaminado en el fruto	(Fernández et al., 2017)

6.3 Recubrimientos comestibles con propiedades antioxidantes

Los compuestos antioxidantes se definen como sustancias que retrasan o previenen los efectos indeseados causados por la oxidación en un alimento, un ejemplo clásico es la rancidez generada en productos cárnicos por la oxidación de los ácidos grasos (Ponce et al., 2008). Actualmente se cuestiona el uso de antioxidantes sintéticos debido a su posible toxicidad en el organismo humano, por esta razón, se ha ampliado la búsqueda de compuestos antioxidantes naturales que pueden estar presentes en algunas plantas de consumo habitual, es el caso del romero, orégano, tomillo, té, entre otras (Ganiari et al., 2017).

Conocido el carácter antioxidante de diferentes extractos naturales, la atención se centra ahora en la forma en que pueden combinarse con un producto alimenticio para cumplir su función de forma efectiva y sin efectos secundarios sobre las propiedades organolépticas, uno de los caminos que ha llamado la atención de los investigadores es el uso de los recubrimientos comestibles como transporte de estos compuestos (Ribeiro-Santos, Andrade, Melo, & Sanches-Silva, 2017; Ganiari et al., 2017). Dado que las propiedades mecánicas y de barrera de los recubrimientos comestibles son tan sensibles a cambios en la formulación o en las condiciones de proceso (Bertuzzi, Castro Vidaurre, et al., 2007), varios estudios se han encaminado a caracterizar la influencia de estos nuevos ingredientes en el funcionamiento de la película, en la Tabla 3 se presenta una recopilación de estudios recientes.

Tabla 3. Incorporación de compuestos antioxidantes en matrices biopoliméricas comestibles

Compuesto	Biomaterial	Posible funcionalidad	Referencias
Té verde y albahaca	Almidón de mandioca	Altos contenidos de polifenoles que pueden actuar como antioxidantes. Reducción de la permeabilidad al vapor de agua y alta resistencia térmica.	(Medina Jaramillo, Gutiérrez, Goyanes, Bernal, & Famá, 2016)
Aceite de coco y extracto de té	Almidón de arroz	Se evidencian propiedades de barrera microbiana, se retrasa el efecto de maduración, pero existe un descenso en contenido de azúcares y ácido ascórbico	(Sánchez-Ortega, García-Almendárez, Santos-López, Reyes-González, & Regalado, 2016)

Aceite esencial de tomillo	Almidón de batata	Se aplica sobre camarones refrigerados y se observa disminución en la oxidación de lípidos. Las propiedades sensoriales son adecuadas.	(Alotaibi & Tahergorabi, 2018)
Nanopartículas de Zein	Almidón de maíz	Se presenta actividad antioxidante de larga duración, se mejora la fuerza y flexibilidad del recubrimiento	(Shuangling Zhang, Haiyan Zhao, 2017)
Aceite esencial de tomillo	Almidón de batata	Se reduce la población de <i>Escherichia Colli</i> y <i>S Typhi</i> en espinaca baby	(Alotaibi & Tahergorabi, 2018)
Ácido ascórbico	Almidón de yuca	Se evidencia disminución de la acción de polifenoloxidasas en plátano hartón, el tiempo de vida útil del alimento se incrementa.	(Márquez Cardozo, Palacín Beltrán, & Fuentes Berrio, 2015)
Pectina	Almidón de yuca	Frutos de mango criollo se conservaron durante 12 días bajo refrigeración a 11°Cy HR de 80%	(Estrada, Padilla, & Márquez, 2015)
Cera de abejas	Almidón de yuca	Se reduce la pérdida de firmeza de frutos de chontaduro que alcanzan un tiempo de conservación de hasta 16 días en comparación con los frutos control que solo tuvieron un tiempo de vida útil de 12 días	(Tosne, Mosquera, & Villada, 2014)
Aceite esencial de tomillo	Almidón de yuca	La aplicación del recubrimiento prolongó la vida útil de frutos de pimentón retardando la pérdida de peso, de firmeza y de color	(Sanchez & Sánchez, 2014)
Cera de laurel	Almidón de yuca	Se evidencia mayor firmeza e incremento de vida de anaquel en 25% de frutos de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> S.). Se mejora la apariencia del fruto	(Andrade et al., 2014)
Aceite de Canola	Almidón de yuca	Se contrastó el efecto de usar un recubrimiento comestible en frutos de piña frente al uso de condiciones de vacío con el fin de prolongar vida en anaquel. Se concluye que la técnica de vacío es más efectiva.	(Dussán-Sarria et al., 2014)

7 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN CON COMPUESTOS FISIOLÓGICAMENTE ACTIVOS

Recientemente, se han analizado matrices biopoliméricas como un medio adecuado para el transporte de los microorganismos probióticos al interior del sistema digestivo humano, los probióticos son microorganismos que pueden conferir un beneficio para la salud del ser humano cuando éste lo consume en cantidades adecuadas durante un tiempo suficiente, las ventajas de los probióticos han sido ampliamente estudiadas y difundidas (Espitia, Batista, Azeredo, & Otoni, 2016). La efectividad de un probiótico depende de varios factores, entre ellos, la capacidad de llegar al tracto digestivo resistiendo al efecto de los ácidos estomacales, las sales biliares y la presencia de otras especies (Espitia et al., 2016), para garantizar su llegada en condiciones apropiadas se han estudiado diferentes matrices que funcionen como un vehículo de estos microorganismos.

Entre los probióticos más estudiados en matrices alimentarias se encuentran los del género *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Los beneficios más llamativos del consumo de estos agentes sobre la salud humana incluyen la inhibición de patógenos, reducción de riesgo de cáncer de colon, mejora de absorción de calcio y mejora del sistema inmune (Quirós-Sauceda, Ayala-Zavala, Olivas, & González-Aguilar, 2014).

La combinación de recubrimientos comestibles y probióticos ha despertado el interés de investigadores durante la última década, debido a que resulta una alternativa prometedora para transportar estos compuestos bioactivos preservando su integridad, especialmente frente a condiciones de pH, oxígeno y luz. La técnica más estudiada para lograr este objetivo consiste en la microencapsulación.

Tabla 4. Compuestos fisiológicamente activos ensayados

Compuesto	Biomaterial	Posible funcionalidad	Referencias
Extracto de propóleo	Almidón de mandioca	Inhibición del desarrollo de microorganismos en frutos de papaya durante 7 días de almacenamiento	(Siripatrawan et al., 2016).
Pulpa de mora	Almidón de plátano	Se reduce la tasa de digestibilidad in vitro. Se presenta actividad antiinflamatoria y buena aceptación sensorial.	(Gutiérrez, 2017)
<i>Bifidobacterium animalis</i> Bb-12® y <i>Lactobacillus casei-01</i>	Suero de leche aislado	La presencia de los microorganismos probióticos se mantuvo hasta e 60 días a 4°C, las propiedades mecánicas se mantuvieron estables	(Odila Pereira et al., 2016)
Ácido láctico, nisina y arginato láurico	Almidón - ácido oleico	Se encuentra un coeficiente de humectabilidad adecuado y buenas propiedades angulares	(Espitia et al., 2016)
<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i> y <i>Lactobacillus acidophilus</i> DSM	Mezclas pululano, almidón de yuca y almidón de papa	Un aumento en el contenido de almidón de la formulación generó disminución sustancial en la viabilidad celular de los probióticos. Sin embargo, una correcta formulación garantiza propiedades mecánicas adecuadas y viabilidad celular entre 70 y 80% en almacenamiento por dos meses	(Kanmani & Lim, 2013)

Con el objetivo de ampliar el campo de conocimiento sobre potenciales efectos en la salud de los consumidores, Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Tapia, M. S., Pérez, E., y Famá, L, elaboraron películas comestibles a base de almidón de plátano con adición de pulpa de mora, encontrando que la adición del nuevo ingrediente generaba un mayor nivel de compactación de la película lo que repercute en un menor nivel de digestibilidad in vitro, sin embargo, la actividad antiinflamatoria y la mejor aceptación por parte del panel entrevistado sugieren la realización de ensayos con diferentes composiciones que permitan obtener un material con condiciones mecánicas óptimas y efectos mesurables en la salud de población obesa y diabética (Gutiérrez, 2017a,b).

8 CONCLUSIONES

Los recubrimientos comestibles ofrecen una alternativa para la protección y conservación de frutas y hortalizas como alternativa al uso de materiales poliméricos no biodegradables.

El almidón de yuca producido en Colombia tiene un alto potencial en la elaboración de recubrimientos comestibles de acuerdo con la amplia variedad de estudios encontrados, sin embargo, se requiere mayor investigación en el posible uso de cereales obtenidos a partir de otras fuentes de tubérculos, cereales y oleaginosas.

El comportamiento de las propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles esta correlacionado con la formulación de la mezcla utilizada, por ello se hace evidente en todos los estudios la necesidad de optimizar estos dos aspectos con el fin de lograr un producto viable industrial y comercialmente.

Se requieren estudios que contemplen condiciones de almacenamiento y transporte de las frutas y hortalizas con el fin de verificar la viabilidad de la aplicación de recubrimientos en el último eslabón de la cadena productiva.

La incorporación de agentes antioxidantes y antibacterianos en los recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas brinda un campo de investigación amplio a nivel nacional dada la diversidad de fuentes autóctonas de estos compuestos.

Existe escasez de estudios concluyentes respecto al efecto nutraceutico que podrían tener los recubrimientos comestibles con ingredientes funcionales específicamente en la salud humana, se requiere la incorporación de estudios clínicos que permitan comprobar a largo plazo los posibles beneficios.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, O. R. G., Fandiño, M. I. P., & Ante, L. T. S. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, manihot esculenta, variedad ica, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1), 13–21. Recuperado a partir de http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMENTECH/article/view/382
- Alocón, F., & Dufour, D. (1998). Almidón agrio de yuca en Colombia: Producción y recomendaciones. *Ciat*, 3–10. <https://doi.org/CIAT N°. 268>
- Alotaibi, S., & Tahergorabi, R. (2018). LWT - Food Science and Technology Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 88(June 2017), 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.022>
- Ancos, D. (2015). Uso de películas / recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8–17.
- Andrade, J. C., Acosta, D. L., Bucheli, M. A., & Osorio, O. (2014). Desarrollo de un recubrimiento comestible compuesto para la conservación del tomate de Cyphomandra betacea S.). *Informacion Tecnologica*. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600008>
- Aroca, K., Regalado, O., Acosta, S., & Científico, A. (2018). Estudio De La Conservación De Frutas En “ Iv Gama ” Con La Aplicación De Un Recubrimiento Biodegradable-Activo. *Revista Científica Ecuatoriana*, (5).
- Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., & Aibab, S.-I. (1998). Carbohydrate Polymers Edible films made from hydroxypropyl starch and gelatin and plasticized by polyols and water. *Carbohydrate Polymers*, 36, 105–19.
- Ávila-Sosa, R; López-Malo, A. (2008). Aplicación De Sustancias a Recubrimientos Comestibles. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 2*.
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>
- Bertuzzi, M. A., Armada, M., & Gottifredi, J. C. (2007). Physicochemical characterization of starch based films. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.12.016>
- Bertuzzi, M. A., Castro Vidaurre, E. F., Armada, M., & Gottifredi, J. C. (2007). Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 972–978. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.016>
- Bezerra, A., Aquino, D., Fitzgerald, A., Cristina, L., & Aquino, L. De. (2015). Impact of edible chitosan – cassava starch coatings enriched with Lippia gracilis Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (Psidium guajava L .) during storage at

- room temperature. *FOOD CHEMISTRY*, 171, 108–116.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.077>
- Biliaderis, C. G. (2009). Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. En *Starch*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00008-2>
- Calatayud, M., López-De-Dicastillo, C., López-Carballo, G., Vélez, D., Hernández Muñoz, P., & Gavara, R. (2013). Active films based on cocoa extract with antioxidant, antimicrobial and biological applications. *Food Chemistry*.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.097>
- Casariogo, A., Souza, B. W. S., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Cruz, L., & Di, R. (2008). ARTICLE IN PRESS Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer , surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot, 22, 1452–1459. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.09.010>
- Chávez Salazar, A. (2015). *Obtención de almidón modificado a partir de tres cultivares de musáceas*.
- Colivet, J., & Carvalho, R. A. (2017). Hydrophilicity and physicochemical properties of chemically modified cassava starch films. *Industrial Crops and Products*, 95, 599–607. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.018>
- De Oliveira Romera, C., De Moraes, J. O., Zoldan, V. C., Pasa, A. A., & Laurindo, J. B. (2012). Use of transient and steady-state methods and AFM technique for investigating the water transfer through starch-based films. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.033>
- Dias, A. B., Müller, C. M. O., Larotonda, F. D. S., & Laurindo, J. B. (2010). Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.014>
- Dussán-Sarria, S., Reyes-Calvache, P. M., & Hleap-Zapata, J. I. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes tipos de empaque en los atributos físico-químicos y sensoriales de piña “Manzana” mínimamente procesada. *Informacion Tecnológica*, 25(5), 41–46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500007>
- Enríquez, M., Velasco, R., & Fernandez, A. (2013). Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables - Native and modified cassava starch characterization for biodegradable packaging making. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial*, (2), 21–30.
- Espinal, F., & Martinez, H. (2005). La Industria Procesadora De Papa, Platano Y Yuca: El Mercado De Pasabocas (Snacks) Y Congelados En Colombia. *Corpoica.Org.Co*, 34.
- Espinel Villacrés, R. A., Flores, S. K., & Gerschenson, L. N. (2014). Biopolymeric antimicrobial films: Study of the influence of hydroxypropyl methylcellulose, tapioca starch and glycerol contents on physical properties. *Materials Science and Engineering C*. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.11.043>
- Espitia, P. J. P., Batista, R. A., Azeredo, H. M. C., & Otoni, C. G. (2016). Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026>
- Estrada, M. E., Padilla, F., & Márquez, C. J. (2015). Efecto de recubrimientos protectores sobre la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) en poscosecha. *Revista UDCA*, 18(1), 181–188.

- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2015). Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. *Scientia Horticulturae*, *193*, 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.027>
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004>
- Fernández, M., Echeverria, N., Mosquera, A., & Paz, P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas – Current status of the use of edible coatings in fruit and vegetables. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *15*(2), 134–141. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)134-141](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)134-141)
- Galgano, F., Condelli, N., Favati, F., & Condelli, N. (2016). The health effects of oleuropein , one of the major phenolic compounds of olives, *28*(May), 178–190. <https://doi.org/10.14674/1120-1770>
- Galus, S., & Kadzinska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
- Ganiari, S., Choulitoudi, E., & Oreopoulou, V. (2017). Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. *Trends in Food Science and Technology*, *68*, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.009>
- Gutiérrez, T. J. (2017). Surface and nutraceutical properties of edible films made from starchy sources with and without added blackberry pulp. *Carbohydrate Polymers*, *165*, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.016>
- Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Famá, L. (2015). Corn Starch 80:20 “Waxy”:Regular, “Native” and Phosphated, as Bio-Matrixes for Edible Films. *Procedia Materials Science*. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.077>
- Han, J. H., & Aristippos, G. (2005). Edible films and coatings. A review. En *Innovations in Food Packaging*. <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50047-4>
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos. *Food Science and Technology*, *28*, 718–726.
- Kanmani, P., & Lim, S. T. (2013). Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. *Food Chemistry*, *141*(2), 1041–1049. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.103>
- Lin, S. J., & Pascall, M. A. (2014). Incorporation of vitamin E into chitosan and its effect on the film forming solution (viscosity and drying rate) and the solubility and thermal properties of the dried film. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.04.015>
- Mali, S., Sakanaka, L. S., Yamashita, F., & Grossmann, M. V. E. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.003>
- Márquez Cardozo, C. J., Palacín Beltrán, J. R., & Fuentes Berrio, L. (2015). Effect of cassava-starch coatings with ascorbic acid and N-acetylcysteine on the quality of harton plantain (<i>Musa paradisiaca</i>). *Revista Facultad Nacional de*

Agronomía. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n2.50985>

- Martirosyan, A., & Schneider, Y.-J. (2014). Engineered Nanomaterials in Food: Implications for Food Safety and Consumer Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health International Journal of Environmental Research and Public Health Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11, 5720–5750. <https://doi.org/10.3390/ijerph110605720>
- Medina Jaramillo, C., Gutiérrez, T. J., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2016). Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.025>
- Mirada, U. N. A., Agroindustria, A. L. A., Almidón, D. E. E. D. E., & La, D. (2010). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149218986002>.
- Moncayo, D., Buitrago, G., & Algecira, N. (2013). The surface properties of biopolymer-coated fruit: A review. *Ingeniería e Investigación*, 33(3), 11–16. Recuperado a partir de <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84890262477&partnerID=tZOtx3y1>
- Moreno, O., Pastor, C., Muller, J., Atarés, L., González, C., & Chiralt, A. (2014). Physical and bioactive properties of corn starch - Buttermilk edible films. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.015>
- Navarro, C. P. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación, 219. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/8534>
- Odila Pereira, J., Soares, J., Sousa, S., Madureira, A. R., Gomes, A., & Pintado, M. (2016). Edible films as carrier for lactic acid bacteria. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.060>
- Ortega-Toro, R., Collazo-Bigliardi, S., Roselló, J., Santamarina, P., & Chiralt, A. (2017). Antifungal starch-based edible films containing Aloe vera. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.023>
- Ortega-Toro, R., Jiménez, A., Talens, P., & Chiralt, A. (2014). Effect of the incorporation of surfactants on the physical properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.11.011>
- Perdomo, J., Cova, A., Sandoval, A. J., García, L., Laredo, E., & Müller, A. J. (2008). Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 76, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.023>
- Podshivalov, A., Zakharova, M., Glazacheva, E., & Uspenskaya, M. (2017). Gelatin/potato starch edible biocomposite films: Correlation between morphology and physical properties. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.079>
- Ponce, A. G., Roura, S. I., del Valle, C. E., & Moreira, M. R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: In vitro and in vivo studies. *Postharvest Biology and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.013>
- Quintero, C. J., ; Falguera, M., & Quintero, C. Juan.I ; Falguera, Victor.II ; Muñoz, H. A. . (2010). Películas y recubrimientos comestibles : importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola Films and edible coatings : importance , and recent trends in fruit. *Revista Tumbaga*, 5, 93–118.
- Quirós-Sauceda, A. E., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2014). Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review. *Journal*

- of *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1246-x>
- Rebaza, R., Amaya, L., Gutiérrez, A., Haro, R., Tumbajulca, M., Valera, F., ... Sánchez-González, J. A. (2016). Aplicación del propóleo en envasado activo. *Agroindustrial Science*, 6(2), 239–252. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.02.09>
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Melo, N. R. de, & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>
- Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.015>
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.05.002>
- Romero-Bastida, C. A., Zamudio-Flores, P. B., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: Efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Ruiz Aviles, G. (2005). Pólimeros Biodegradables a partir de almidón de yuca. *Eafit*, 15–22. Recuperado a partir de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2
- Rural, M. de A. y D. (2014). Cadena Agroindustrial de la Yuca en Colombia -CAYUCOL.
- Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 105, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.009>
- Sánchez-Ortega, I., García-Almendárez, B. E., Santos-López, E. M., Reyes-González, L. R., & Regalado, C. (2016). Characterization and antimicrobial effect of starch-based edible coating suspensions. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.004>
- Sanchez, S. A. M., & Sánchez, L. P. M. (2014). Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento *Capsi cumannuum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 795–805.
- Shen, X. L., Wu, J. M., Chen, Y., & Zhao, G. (2010). Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.003>
- Shrestha, A. K., & Halley, P. J. (2014). Starch Modification to Develop Novel Starch-Biopolymer Blends: State of Art and Perspectives. En *Starch Polymers: From Genetic Engineering to Green Applications*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53730-0.00022-1>
- Siripatrawan, U., & Vitchayakitti, W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.001>
- Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2015). Formulation and characterization of

- nanolaminated starch based film. *LWT - Food Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.034>
- Song, X., Zuo, G., & Chen, F. (2018). Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.114>
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2005). Plasticizers in edible films and coatings. En *Innovations in Food Packaging*. <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50055-3>
- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Carmona, A., Rodríguez, F. J., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.10.004>
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074>
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch - Composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, L. F., & Cajigas-Cerón, Á. A. (2014). La separación del almidón de yuca: Evaluación de la sedimentación por gravedad en canales. *Ingeniería e Investigación*, 34(1), 42–47.
- Tosne, Z. L., Mosquera, S. A., & Villada, H. S. (2014). Efeito de revestimento de fécula de mandioca e cera de abelha no chontaduro. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 30–39. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200004
- Vásconez, M. B., Flores, S. K., Campos, C. A., Alvarado, J., & Gerschenson, L. N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.026>
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>