



# **APLICACIONES DE LAS BIOPELÍCULAS COMESTIBLES EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

GIOVANNY ALEXANDER ZAMUDIO CASTELLANOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE- CALI, VALLE DEL CAUCA  
ESCUELA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS  
INGENIERIA EN ALIMENTOS  
2014



# **APLICACIONES DE LAS BIOPELÍCULAS COMESTIBLES EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

GIOVANNY ALEXANDER ZAMUDIO CASTELLANOS COD: 0839904

Trabajo de grado (Monografía) para optar el título de Ingeniero de Alimentos

DIRIGIDO POR:

Cristina Ramírez  
Ph.D en Procesos Biotecnológicos

UNIVERSIDAD DEL VALLE- CALI, VALLE DEL CAUCA  
ESCUELA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS  
INGENIERIA EN ALIMENTOS  
2014

## **DEDICATORIA**

A mis padres Pedro Pablo Zamudio Martínez y María Yolanda Castellanos Hernández por su amor, apoyo incondicional y por enseñarme que la disciplina se logra con tenacidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora de Tesis, la doctora Cristina Ramírez por haberme guiado en este trabajo con su apoyo, conocimiento y paciencia.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se efectuó una revisión bibliográfica sobre el uso de biopelículas comestibles aplicables a alimentos. Se investigaron el estado del arte y el potencial de la aplicación de biopelículas comestibles recopilando información sobre las propiedades mecánicas, estructurales y fisicoquímicas de los materiales que podrían ser utilizados para su formulación, estableciendo las recomendaciones para su aplicación en alimentos.

Palabras clave: Película, recubrimiento, biopelículas comestibles.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. INTRODUCCIÓN .....                                                                                                                         | 7  |
| II. MARCO TEÓRICO .....                                                                                                                       | 9  |
| 2.1 Generalidades .....                                                                                                                       | 9  |
| 2.2 Características de las películas y recubrimientos comestibles.....                                                                        | 10 |
| 2.3 Ventajas de las películas y recubrimientos comestibles .....                                                                              | 10 |
| 2.4 Componentes de las películas comestibles y aplicaciones .....                                                                             | 11 |
| 2.5 Proceso de obtención y aplicación de películas comestibles .....                                                                          | 14 |
| III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....                                                                                         | 15 |
| IV. HIPÓTESIS .....                                                                                                                           | 16 |
| V. OBJETIVOS .....                                                                                                                            | 17 |
| VI. METODOLOGÍA.....                                                                                                                          | 18 |
| VII. DESARROLLO .....                                                                                                                         | 19 |
| 7.1 Estado del arte y potencial de la aplicación de biopelículas .....                                                                        | 19 |
| 7.2 Propiedades mecánicas, estructurales y fisicoquímicas de los materiales que<br>podrían ser utilizados como biopelículas comestibles ..... | 20 |
| 7.2.1 Películas y recubrimientos a base de proteínas .....                                                                                    | 20 |
| 7.3 Efectividad de los materiales de recubrimiento.....                                                                                       | 35 |
| 7.3.1 Películas y recubrimientos a base de proteínas .....                                                                                    | 35 |
| 7.3.2 Películas y recubrimientos a base de lípidos, ceras y resinas.....                                                                      | 37 |
| 7.3.3 Películas y recubrimientos a base de polisacáridos .....                                                                                | 37 |
| VIII. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS<br>BIOPELICULAS COMESTIBLES.....                                                 | 40 |
| 8.1 Características estructurales y físico-químicas de las biopelículas .....                                                                 | 40 |
| 8.2 Permeabilidad al vapor de agua (PVA), O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de recubrimientos comestibles<br>para frutas y hortalizas .....    | 43 |
| 8.3 Areas que abarcan los recubrimientos comestibles .....                                                                                    | 43 |
| 8.4 Beneficios de los recubrimientos comestibles .....                                                                                        | 44 |
| 8.5 Influencia de los compuestos volátiles en las propiedades mecánicas de las<br>películas comestibles .....                                 | 44 |
| 8.6 Permeabilidad para compuestos de aroma de varias películas comestibles.....                                                               | 45 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IX. DISCUSIÓN .....                                                                                                                            | 46 |
| 9.1 Definición, propósito y aplicaciones de las películas comestibles .....                                                                    | 46 |
| 9.2 Polímeros usados en la elaboración de películas comestibles .....                                                                          | 46 |
| 9.2.1 Polisacáridos .....                                                                                                                      | 46 |
| 9.2.2 Proteínas .....                                                                                                                          | 47 |
| 9.2.3 Lípidos .....                                                                                                                            | 47 |
| 9.3 Propiedades de las películas comestibles .....                                                                                             | 48 |
| 9.4 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a los alimentos procesados .....                                                    | 55 |
| 9.4.1 Películas y recubrimientos en carne.....                                                                                                 | 55 |
| 9.4.2 Películas y recubrimientos en cereales .....                                                                                             | 56 |
| 9.4.3 Películas y recubrimientos en pasas y nueces.....                                                                                        | 57 |
| 9.4.4 Películas y revestimientos en confitería .....                                                                                           | 57 |
| 9.5 Aplicabilidad de las películas comestibles comerciales en productos alimenticios.....                                                      | 58 |
| 9.6 Métodos de aplicación de revestimiento .....                                                                                               | 59 |
| 9.7 Claves para el éxito de la aplicación del revestimiento .....                                                                              | 62 |
| 9.8 Moléculas volátiles (aromas, aceites esenciales) para películas comestibles .....                                                          | 67 |
| 9.8.1 Desempeño de los compuestos de aroma como barrera de películas comestibles.....                                                          | 68 |
| 9.8.2 Protección de los compuestos de sabor contra la degradación química por las películas y recubrimientos comestibles .....                 | 68 |
| 9.8.3 Efecto de los compuestos volátiles en las propiedades estructurales y fisicoquímicas de las películas y recubrimientos comestibles ..... | 68 |
| X. CONCLUSIONES.....                                                                                                                           | 70 |
| XII. BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                                        | 73 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Aplicaciones de revestimientos de polisacáridos sobre lo alimentos.....                                                         | 37 |
| <b>Tabla 2.</b> Actividad antimicrobiana del quitosano sobre microorganismos contaminantes de alimentos de origen animal.....                   | 38 |
| <b>Tabla 3.</b> Características estructurales y físico-químicas de las biopelículas.....                                                        | 40 |
| <b>Tabla 4.</b> Permeabilidad al vapor de agua, O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> de recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas.....    | 43 |
| <b>Tabla 5.</b> Permeabilidad (P) para compuestos de aroma de varias películas comestibles a 25 ° C.....                                        | 47 |
| <b>Tabla 6.</b> Áreas que abarcan los recubrimientos comestibles.....                                                                           | 43 |
| <b>Tabla 7.</b> Beneficios de los recubrimientos comestibles.....                                                                               | 44 |
| <b>Tabla 8.</b> Permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno y propiedades mecánicas de las películas plásticas más usadas en los alimentos..... | 44 |
| <b>Tabla 9.</b> Influencia de la incorporación de compuestos volátiles en las propiedades mecánicas de las películas comestibles.....           | 44 |
| <b>Tabla 10:</b> La permeabilidad (P) para compuestos de aroma de varias películas comestibles a 25 ° C.....                                    | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.....                                                                                                                                                    | 9  |
| <b>Figura 2.</b> Zona de inhibición de las películas de almidón de plátano oxidado, control (puré de manzana con almidón oxidado de plátano) (A) y con 1.5 % de aceite esencial de canela (B) utilizando <i>Staphylococcus aureus</i> ..... | 29 |
| <b>Figura 3.</b> Seguimiento visual a las fresas control y tratadas con glicerol (T1) y sorbitol (T2) (0,5 % w/v) durante el almacenamiento.....                                                                                            | 29 |
| <b>Figura 4.</b> Estructura y conformación de los alginatos: monómeros y cadenas de conformación.....                                                                                                                                       | 30 |
| <b>Figura 5:</b> Celulosa bacteriana obtenida por cultivo estático: (a) Vista frontal y (b) transversal de la celulosa después del proceso de purificación. (c) Celulosa seca.....                                                          | 32 |
| <b>Figura 6.</b> Celulosa bacteriana generado por <i>Glucanoacetobacter medellinensis</i> .....                                                                                                                                             | 33 |
| <b>Figura 7.</b> Gránulos de CB en cultivo agitado.....                                                                                                                                                                                     | 33 |
| <b>Figura 8.</b> Imagen por microscopía electrónica donde se muestra la acumulación de PHAs por <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....                                                                                                         | 34 |
| <b>Figura 9.</b> Efecto de agente antimicrobiano sobre <i>M. luteus</i> y <i>S. aureus</i> .....                                                                                                                                            | 39 |
| <b>Figura 10.</b> Degradación completa de PHA en menos de 50 días bajo condiciones tropicales.....                                                                                                                                          | 39 |

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente ha aumentado el interés por el uso de materiales biodegradables que pueden ser utilizados para el desarrollo de recubrimientos comestibles debido a que cada vez es mayor la cantidad de residuos que se generan a nivel mundial, y lo que es peor, que la mayor parte de los plásticos no pueden ser eliminados.

A causa de esta problemática se están desarrollando tecnologías amigables con el medio ambiente a partir de fuentes renovables (SUYATMA et al., 2005). Las películas recubrimientos comestibles representan una alternativa de empaque sin costos ambientales. Aunque no se pretende el reemplazo total de películas sintéticas, se tiene el potencial para reducir considerablemente el uso de estos materiales (MIRANDA et al., 2003).

Una herramienta utilizada en la industria de alimentos para aumentar la vida útil, es el uso de biopelículas comestibles para recubrir los alimentos. Estas otorgan propiedades barreras, reduciendo la permeabilidad e intercambio de moléculas con el ambiente. Debido a que las biopelículas no son invisibles, un mal diseño puede cambiar el color original del producto, alterando su aceptación por el consumidor, (ACEVEDO et al., 2010).

La aplicación de películas o recubrimientos comestibles (biopelículas) es una tecnología que está ganando importancia para prolongar la conservación de la calidad en frutas, hortalizas. No sólo constituyen barreras que reducen la permeabilidad e intercambio de moléculas con el ambiente, sino que además son un excelente vehículo para la incorporación de agentes antimicrobianos naturales que garantizan la seguridad alimenticia. Los recubrimientos se han desarrollado con el fin de usarse como soporte de agentes antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes, para reducir la migración de humedad y lípidos o el transporte de gases y solutos, deben poseer propiedades mecánicas que garanticen la adecuada adhesividad a los alimentos y la manipulación de ellos sin el deterioro de las mismas y, además, deben ser totalmente neutras con respecto al color, tacto y olor del alimento (FAMÁ et al., 2004).

Los sistemas de recubrimiento activo (Active Coating Systems) corresponden a una generación de materiales de recubrimiento que puede emplear sustancias químicas, compuestos fitoquímicos, enzimas, péptidos o microorganismos vivos que previenen, por ejemplo, el crecimiento microbiano o la oxidación de lípidos en productos alimentarios que han sido recubiertos. De esta manera, los biomateriales actúan como transportadores de dichos compuestos a sitios como el intestino, sin perder su actividad durante su paso por el tracto gastrointestinal (MIRANDA et al., 2003).

Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento (GARCÍA-RAMOS et al., 2010). Por otra parte una película comestible (PC) es una matriz preformada, delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo. Dichas soluciones formadoras de PC o RC pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos (KROCHTA et al., 1994). Al igual que los RC, las PC

poseen propiedades mecánicas, generan efecto barrera frente al transporte de gases, y pueden adquirir diversas propiedades funcionales dependiendo de las características de las sustancias encapsuladas y formadoras de dichas matrices (VASCONEZ et al., 2009).

El uso de una PC o RC en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial. Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material empleando como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones bajo las cuales se elaboran las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc.) (ROJAS-GRAU et al., 2009a).

Los biopolímeros son polímeros obtenidos a partir de una fuente natural como pueden ser los organismos vivos, y que cumplen con los principales condicionantes medioambientales para su uso: ser obtenidos de fuentes renovables, proteínas y almidones, y mostrar una alta capacidad de biodegradación. Estos materiales se pueden utilizar para diversas aplicaciones y en ciertos casos se pueden producir con un menor consumo energético que sus homólogos petroquímicos, por lo que tienden a ser menos tóxicos para el medio ambiente (POJANAVARAPHAN et al., 2010).

Por otra parte, el creciente interés en los alimentos de alta calidad, con mayor vida útil y un impacto ambiental reducido, ha fomentado el desarrollo de películas y revestimientos de estos biopolímeros (HERNÁNDEZ et al., 2008).

Las biopelículas comestibles actualmente se encuentran en pleno desarrollo. Hoy en día muy pocos materiales se pueden encontrar comercialmente en el mercado, con aplicación en alimentos. En los próximos años se espera que la información que se genere en el campo de las tecnologías emergentes referentes a recubrimientos y biopelículas comestibles sea ampliamente aplicada a la industria alimentaria y no se quede estancada a escala de laboratorio.

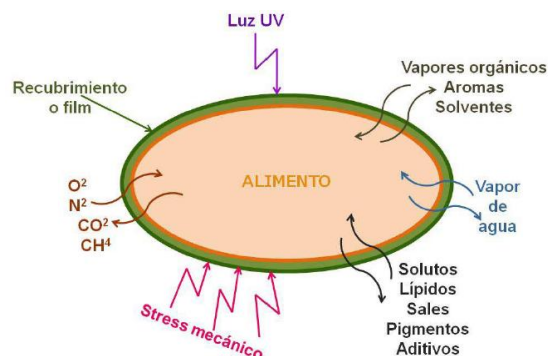
En este trabajo se realizó una revisión y síntesis de diversos estudios en el uso de biopelículas y su efecto sobre la conservación de alimentos. Además, se buscó proporcionar una actualización concerniente al desarrollo e implementación de biopelículas como alternativa natural, y viable desde el punto de vista medioambiental para la conservación de productos alimenticios.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades

El uso de películas comestibles sobre productos alimenticios no es un tratamiento innovador; en China desde los siglos XII y XIII se empleaba la cera para retrasar la deshidratación de los cítricos, (DURANGO et al., 2011). Actualmente el uso de películas comestibles se ha extendido a muchos alimentos: productos cárnicos, pescados y carne aviar tanto frescos como congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos, platos preparados entre otros. Esto se debe al desarrollo de formulaciones innovadoras respecto a los biopolímeros utilizados para su composición. Según el tipo de biopolímeros (proteínas, polisacáridos, lípidos) que componga la PC o RC, sus características y funciones serán diferentes, ya que están ligadas a la composición química y estructural del mencionado biopolímero. Dichas funciones están asociadas a la preservación de la calidad de los alimentos sobre los cuales se aplica y consisten principalmente en servir como barrera en la transferencia de distintas sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa. La Figura 1 muestra las posibles transferencias que sufre un producto por las barreras comestibles, (PARZANESE et al., 2011).



**Figura 1.** Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles. Fuente: PARZANESE, M. 2011.

Una funcionalidad importante de los recubrimientos y películas comestibles es su habilidad para incorporar ingredientes activos, ya que pueden servir como soporte de aditivos capaces de conservar y mejorar la calidad del producto. Es posible utilizarlos, por ejemplo, en frutas frescas cortadas para mejorar su calidad y vida útil con la incorporación de antioxidantes, antimicrobianos y mejoradores de textura. Asimismo se pueden utilizar como alternativa a la aplicación de antimicrobianos por el método de inmersión, técnica que provoca difusión de los agentes antimicrobianos hacia el interior del producto causando pérdida de efectividad de dichos agentes por no alcanzarse la concentración mínima necesaria en la superficie para la inhibición del desarrollo de microorganismos. (CAGRI et al., 2004).

Los términos Recubrimientos Comestibles y Películas Comestibles se utilizan indistintamente para referirse a la aplicación de matrices transparentes y comestibles sobre las superficies de los alimentos, con el fin de preservar su calidad. Sin embargo ambos se distinguen por el modo en que son obtenidos y aplicados sobre el producto. Un recubrimiento comestible (RC) es una película que envuelve al alimento y que puede ser

consumida como parte del mismo. Por otra parte las películas comestibles son matrices preformadas, obtenidas por moldeo, cuyo espesor es siempre mayor al de los RC. Estas son aplicadas sobre la superficie o como separador de los distintos componentes de un alimento, luego de ser producidas (PASTOR et al., 2005).

A pesar de esto ambos funcionan de igual manera como barrera frente a las distintas sustancias que interactúan con el alimento ( $O_2$ ,  $CO_2$ , vapor de agua, lípidos, sales, minerales, etc.) durante su almacenamiento y comercialización. Es por esto que la característica más importante e innovadora de los RC y PC es que son empaques comestibles que aumentan el tiempo de vida útil del alimento (DURANGO et al., 2011).

## **2.2 Características de las películas y recubrimientos comestibles**

Debido a que son considerados aditivos alimenticios y que es necesario que posean determinadas propiedades de barrera para la preservación de los productos, los RC y PC deben presentar las siguientes características (PARZANESE et al., 2011):

- Poseer propiedades nutricionales y organolépticas que sean compatibles con el alimento a recubrir.
- Presentar propiedades mecánicas adecuadas para evitar pérdidas por roturas o quiebre del material.
- Ser estables frente a las distintas condiciones de almacenamiento.
- Poder adherirse fácilmente a la superficie de los alimentos a tratar.
- Responder a la reglamentación vigente (aditivos alimentarios).
- Requerir de tecnologías sencillas y de bajo costo para su fabricación y posterior aplicación.

## **2.3 Ventajas de las películas y recubrimientos comestibles**

- Disminuyen los desechos de envasado. Un alimento al cual se aplica un recubrimiento comestible requiere de embalajes más simples.
- Pueden ser ingeridos por los consumidores.
- Regulan el intercambio de gases como  $O_2$ ,  $CO_2$  y de vapor de agua. Mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura.
- Prolongan la vida útil de alimentos mínimamente procesados a través del control sobre el desarrollo de microorganismos y de los cambios fisicoquímicos y fisiológicos. Pueden mejorar las características nutricionales y organolépticas.
- Pueden regular distintas condiciones de interfase o superficiales del alimento, a través del agregado de aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos, nutrientes.

## **2.4 Componentes de las películas comestibles y aplicaciones**

Es importante destacar que las características funcionales de los RC y PC son consecuencia directa de la materia prima utilizada para su fabricación, la cual debe ser obtenida de fuentes naturales para asegurar su biodegradabilidad. Estos componentes que forman parte de la formulación, se clasifican en cinco categorías (KROTCHA et al., 1997):

### **2.4.1 Proteínas**

Dentro de las proteínas se utilizan las de origen animal como la caseína y proteínas del suero de queso (KROCHTA et al., 1997)

- **Caseína:** los caseinatos son buenos formadores de películas emulsionadas por su naturaleza anfifílica, su estructura desordenada y su capacidad para formar puentes de hidrógeno. Las películas de caseinato presentan características favorables para uso en alimentos como transparencia y flexibilidad. Se desarrollaron cubiertas protectoras para brownies, cubos de chocolate y donuts a partir de caseinato de sodio, aceite de algodón, soja o maíz y un plastificante.
- **Proteínas del suero lácteo:** Las películas basadas en proteínas del suero son excelentes barreras al O<sub>2</sub>, aunque resultan ser muy frágiles. Como solución a este inconveniente se detectó que sus propiedades mecánicas mejoran considerablemente mediante la adición de un agente plastificante, como el glicerol. Para la fabricación de las películas y los recubrimientos se parte de un concentrado de proteínas al que se aplica calor para su desnaturalización. Tras su refrigeración se elimina el gas atrapado y se forma el material de recubrimiento. Dentro de las primeras aplicaciones consideradas en fase de experimentación se puede nombrar su uso como cobertura en productos sensibles al oxígeno, como nueces y maníes, para evitar su oxidación y prolongar su vida útil (ESCOBAR et al., 2009).

### **2.4.2 Hidrocoloides**

Son polímeros hidrofílicos (contienen grupos oxhidrilos -OH) de origen vegetal, animal o microbiano. Producen un elevado aumento de la viscosidad y en algunos casos tienen efectos gelificantes ya que se disuelven y dispersan fácilmente en agua. En la industria de alimentos se utiliza como aditivos con el fin de espesar, gelificar o estabilizar. Durante los últimos años se expandió el desarrollo de películas biodegradables utilizando hidrocoloides como materia prima, porque presentan excelentes propiedades mecánicas así como de barrera frente al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y lípidos. La desventaja es que por ser hidrofílicos permiten el transporte de humedad. Debido a que se denominan hidrocoloides a aquellas sustancias solubles o dispersables en agua, este término se aplica generalmente a sustancias compuestas por polisacáridos, aunque también algunas proteínas reciben esta clasificación. Entre los más utilizados se encuentran (KROTCHA et al., 1994):

#### **2.4.2.1 Polisacáridos:**

Los polisacáridos que se utilizan en la elaboración de películas comestibles son los almidones, los alginatos, las pectinas, el quitosano, los carragenanos y los derivados de la celulosa (CAGRI et al., 2004).

- Almidones: su uso en la fabricación de pelucilas y recubrimientos es muy conveniente ya que son polímeros biodegradables, comestibles y sus fuentes son abundantes (maíz, trigo, papa, arroz), renovables y de bajo costo. Su funcionalidad es principalmente servir como barrera al O<sub>2</sub> y a los lípidos, como también mejorar la textura.(DURANGO et al., 2004).
- Alginatos: se obtienen de diferentes especies de algas, principalmente de *M. pyrifera*. Presenta la propiedad de formar geles cuando se le adicionan iones calcio (Ca<sup>2+</sup>) poseen buenas propiedades de barrera frente al O<sub>2</sub> y a los lípidos, una de las más destacadas es en productos cárnicos frescos o congelados para evitar su deshidratación superficial. Además se utiliza en recubrimientos de partículas de café liofilizadas (ALVES et al., 1999).
- Pectinas: corresponden a un grupo complejo de polisacáridos estructurales que están presentes en la mayoría de las plantas, principalmente en los cítricos. Para formar películas con este compuesto es necesario agregar una sal de calcio (cloruro de calcio) y plastificante. Debido a que son altamente permeables al agua su uso se limita a mejorar el aspecto de algunos productos como frutas secas (KROTCHA et al., 1994).
- Quitosano: La quitina es el polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Las principales fuentes de este biopolímero son el exoesqueleto de muchos crustáceos, las alas de algunos insectos, paredes celulares de hongos, algas, y otros. En cuanto a su producción industrial se basa mayormente en el tratamiento de los caparazones de crustáceos como camarones, langostas y cangrejos los cuales son obtenidos fácilmente como desechos de las plantas procesadoras de estas especies. Este polisacárido se utiliza para prolongar la vida útil y mejorar la calidad de frutas enteras y cortadas ya que presenta una permeabilidad selectiva frente a los gases, una ligera resistencia al vapor de agua, y propiedades antifúngicas y antibacterianas (KROCHTA DE MULDER-JOHNSTON 1997). El quitosano ha sido utilizado en el control de la podredumbre azul en manzanas de la (CAPDEVILLE et al., 2002). La efectividad del quitosano también ha sido probada en rodajas de mango (CHIEN et al., 2007) y en fresones (VARGAS et al., 2005; VARGAS et al., 2006), donde se observó la mejora de algunas propiedades físico-químicas del fruto.
- Carragenanos: se extraen de algas rojas como las especies *Chondrus* y *Gigarina*. Al igual que los alginatos requieren la adición de sales de calcio para la formación de geles. Como resultado se obtienen películas transparentes, incolora y de sabor ligeramente salado. Se aplican principalmente para retardar la pérdida de humedad de algunos frutos (LANDETA et al., 2010).
- Derivados de la celulosa: Los derivados de la celulosa son considerados buenos agentes formadores de películas debido a su estructura lineal. Generalmente las películas son sólidas y resistentes a los aceites y a la mayoría de los solventes orgánicos no polares. Se emplean para controlar la difusión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, a fin de retrasar el proceso de maduración en frutas y vegetales (JIANG et al., 2001; ZHANG Y QUANTICK et al., 1998).

### 2.4.3 Lípidos

Contrariamente a los hidrocoloides, los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos y no poliméricos, presentando excelentes propiedades de barrera frente a la humedad. Dentro del grupo de lípidos aplicados a recubrimientos y películas comestibles se pueden mencionar las ceras, resinas, ácidos grasos, monoglicéridos y diglicéridos. La característica negativa de estas sustancias es su escasa capacidad para formar películas, es decir no poseen suficiente integridad estructural ni durabilidad. No obstante se utilizan principalmente como protección de frutas, aplicándose una capa lipídica externa como suplemento a la cera natural que poseen los frutos, la cual es generalmente removida durante el lavado. Asimismo se emplean como barrera entre los distintos compuestos de un alimento heterogéneo, como soporte de aditivos liposolubles y para dar brillo a productos de confitería. Los lípidos más utilizados son cera de abeja, parafina, aceites vegetales y acetilglicéridos, (CAGRI et al., 2004).

#### 2.4.2.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales, resinas, extractos y especias son conocidos y utilizados desde la antigüedad en gran número de aplicaciones: perfumes, ambientadores, cosméticos y fármacos. Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas sintetizadas por las plantas que dan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas y a ciertos extractos de origen animal. Son intensamente aromáticos, no grasos y volátiles. Los aceites naturales de un número importante de especies vegetales por ejemplo de los géneros *Cytrus*, *Thimus*, *Salvia*, *Mentha*, *Rosmarinus*, *Abies*, *Pinus*, *Lavandula*, entre otros, han sido evaluados por su capacidad antifúngica y algunos de los componentes terpénicos responsables de esta actividad han sido identificados, entre ellos destacan el carvacrol, el p-anisaldehído, la l-carvona, el eugenol y la d-limolina. La actividad antifúngica de los aceites esenciales está ampliamente documentada por distintos autores (MEEPAGALA et al., 2002).

#### 2.4.4 Compuestos

Como su nombre lo indican las películas y recubrimientos comestibles son formulados mediante la combinación de hidrocoloides y lípidos permitiendo aprovechar las ventajas funcionales que presenta cada uno, reduciendo las características desfavorables. (KROTCHA et al. 1994) Según la ubicación en el espacio de los lípidos respecto a los hidrocoloides, los recubrimientos y películas compuestas pueden ser de dos tipos (GARCÍA et al., 2000):

- Laminados: se configuran mediante la superposición de una capa lipídica sobre una de hidrocoloides, formando una bicapa. De esta manera se logra una distribución homogénea de los lípidos controlando de manera satisfactoria la transferencia de agua.
- Emulsiones: se trata de mezclas heterogéneas de lípidos dentro de una matriz de hidrocoloides, obtenidas por emulsión o microemulsión. Este tipo de películas son menos eficientes respecto a la transferencia de humedad ya que no se logra una distribución homogénea de los lípidos.

#### **2.4.5 Plastificantes**

Un componente importante en la formación de las películas, son los plastificantes, que son sustancias no volátiles con un elevado punto de fusión que cuando son adicionados a un material, cambian sus propiedades físicas y/o mecánicas. Los plastificantes más usados son el sorbitol y el glicerol, que actúan a nivel de puentes de hidrógeno reduciendo las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas del polímero, mejorando en ellos sus propiedades mecánicas como flexibilidad, fuerza y resistencia (DURANGO et al., 2004). Igualmente pueden mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua; la adición de sorbitol y glicerol a recubrimientos a base de almidón de maíz mejoraron sus propiedades de barrera al vapor de agua, siendo los revestimientos con sorbitol los que presentaron menor permeabilidad. La adición de plastificante y lípidos al mismo tiempo en las películas disminuyen aun más la permeabilidad al agua (GARCÍA et al., 2000; GARCÍA et al., 1999)

#### **2.4.6 Películas comestibles antimicrobianos**

Tradicionalmente los antimicrobianos son adicionados directamente a los alimentos, pero su actividad puede ser inhibida por muchas sustancias del propio alimento. Por ejemplo, en la leche el contenido de grasa puede interactuar con la nisina reduciendo su actividad microbiana sobre la *Listeria Monocytogenes* (JUNG et al., 1992). Los antimicrobianos más utilizados en películas comestibles son los ácidos orgánicos y sus sales como, ácido sórbico, ácido propiónico, sorbato de potasio, ácido benzoico, benzoato de sodio, ácido cítrico, bacteriosinas como nisina y pediocina; enzimas como peroxidasa y lisozima, y polisacáridos con propiedades antimicrobianas como el quitosano, (SAYANJALI et al. 2011; DEBEAUFORT et al., 1998; SEBTI et al., 2002; DURANGO et al., 2006; AVILA et al., 2010; CAGRI et al., 2004).

### **2.5 Proceso de obtención y aplicación de películas comestibles**

Para que los RC o PC resulten eficientes respecto a la conservación y empaque del alimento es esencial que su proceso de fabricación y posterior aplicación se lleve a cabo de manera correcta. Si bien existen varias técnicas cada una de ellas debe respetar o cumplir con cinco etapas principales (FAMA et al., 2004):

- Formulación y obtención de los recubrimientos mediante la técnica adecuada (eliminación del solvente, solidificación de la mezcla, gelificación, extrusión, coacervación).
- Aplicación de la matriz comestible sobre la superficie del producto.
- Adhesión del material que compone la película a la superficie del alimento.
- Formación del RC sobre la matriz alimenticia, cuando se trata de PC por ser pre moldeadas ya están constituidas cuando se aplican al producto.
- Estabilización de las capas continuas del RC o de la PC mediante secado, calentamiento, enfriamiento o coagulación, lo cual depende tanto de la técnica para la aplicación elegida como de la formulación de la película o recubrimiento.

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

Cuando se piensa en la utilización o aplicación de biopelículas a alimentos, es difícil reunir información suficiente y apropiada que ayude a comprender claramente lo que significa una biopelícula y las propiedades de los materiales existentes para ser aplicados a los diferentes productos alimenticios.

El presente estudio presenta una revisión bibliográfica del uso de biopelículas comestibles mediante un levantamiento de información sobre materias primas, propiedades funcionales y aplicaciones en alimentos, con el objetivo de proporcionar la información suficiente y adecuada, a futuros investigadores, fabricantes de alimentos, empaques y comercializadores, para la escogencia de un tipo de biopelícula que se ajuste adecuadamente al producto y reúna el mayor número de características necesarias para lograr “bioempaques comestibles”.

Teniendo en cuenta que en la actualidad la principal prioridad de las biopelículas comestibles es la de mantener la integridad física de los alimentos, protegerlos contra factores fisicoquímicos deteriorativos, evitando su contaminación microbiológica, regulando su tasa de respiración para prolongar su vida de anaquel, siendo capaces de liberar controladamente compuestos y/o microorganismos bioactivos específicos, sin presentar toxicidad al consumidor. (SUYATMA et al., 2005)

#### **IV. HIPÓTESIS**

Con la información suministrada en el estudio se proporciona el conocimiento necesario para facilitar la escogencia de los materiales para diseños de biopelículas y/o bioempaques en alimentos.

Es posible que con la información obtenida el lector se oriente al encuentro de materiales apropiados para la elaboración de biopelículas comestibles y/o bioempaques que reúnan el mayor número de características para ser utilizados en productos alimenticios.



## **V. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Efectuar una revisión bibliográfica sobre el uso de biopelículas comestibles aplicables a alimentos, como alternativa natural y viable para la conservación de productos alimenticios, mediante el levantamiento de revisión científica actualizada.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información sobre las propiedades mecánicas, estructurales y fisicoquímicas de los materiales que podrían ser utilizados como biopelículas comestibles.
- Citar los principales conceptos y recomendaciones para el uso de biopelículas aplicables a alimentos.

## **VI. METODOLOGÍA**

### **6.1 Recopilación de información**

La metodología de recopilación de información escogida fue la documental, debido a que arroja mejores resultados tanto en cantidad de datos como en facilidad de aplicación consultando en libros y revistas científicas que traten sobre el uso de las biopelículas y la conservación de alimentos.

Para la realización del presente trabajo se estudiaron las distintas experiencias averiguando los temas que se han investigado recientemente en el campo de las biopelículas buscando y recopilando información del tema de la monografía con base en la necesidad de aumentar la vida útil del producto para el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación.

- 6.1.1 Historia del uso de las biopelículas
- 6.1.2 Clasificación de características estructurales y físico-químicas
- 6.1.3 Procesos de elaboración de las biopelículas
- 6.1.4 Efectividad de los diferentes materiales de recubrimiento
- 6.1.5 Discusión y recomendaciones

### **6.2 Preparación de fichas o apuntes**

Se consultaron las fuentes disponibles con criterio, es decir:

- Extractando el contenido que se desea utilizar.
- Escribiendo críticas breves de cada extracción en lo posible.

### **6.3 Organización de los datos recogidos**

Se organizaron los contenidos extraídos para la construcción, ampliación y revisión del bosquejo tentativo

Esto fue llevado a cabo considerando los objetivos propuestos.

## VII. DESARROLLO

### 7.1 Estado del arte y potencial de la aplicación de biopelículas

Aunque el empleo de RC en la preservación de alimentos no es una técnica novedosa, sí lo es su uso en la conservación de la calidad de frutas y hortalizas frescas cortadas. Las cubiertas de cera sobre frutas han sido usadas en China desde el siglo XII para mejorar la calidad y conservación de frutas, mientras que la aplicación de cubiertas sobre carnes para prevenir su contracción, ha sido una práctica usual al menos desde el siglo XVI, donde las carnes cortadas eran cubiertas con grasas para su conservación. En el siglo XIX, la sacarosa era aplicada como una cubierta comestible protectora sobre nueces, almendras y avellanas para prevenir la oxidación y rancidez durante su almacenamiento. En 1930, en Estados Unidos, se utilizó cera caliente para cubrir frutas cítricas y emulsiones aceite – agua para cubrir frutas frescas y vegetales. A partir de 1950 hay reportes en la literatura de películas hechas a base de polisacáridos, proteínas, lípidos y mezclas, las más exitosas fueron las películas hechas a base de lípidos (ceras y surfactantes) y se usaron para bloquear la transferencia de humedad y controlar el escaldado en manzanas. La aplicación más importante de los RC hasta ahora, y particularmente desde 1930, concierne al uso de una emulsión hecha con cera y aceites en agua que se esparce sobre las frutas para mejorar su apariencia (brillo, color, suavidad), servir de vehículo de fungicidas, proporcionar un mejor control de su maduración y retardar la pérdida de agua (DEBEAUFORT et al., 1998).

Las ceras tales como carnauba, cera de abejas, parafina, salvado de arroz, y candelilla se han utilizado en combinación con otros lípidos, resinas, o polisacáridos para revestir frutas y verduras frescas, como los cítricos y las manzanas aunque de estas ceras, sólo la carnauba es aún comunmente utilizada (BARRERA et al., 2012).

A mediados de la década de 1980, varios revestimientos de polisacáridos solubles en agua que contienen carboximetil celulosa y ésteres de ácidos grasos de sacarosa se hicieron disponibles. Estos generalmente son pobres para producir brillo y tienen un efecto limitado sobre la pérdida de agua, pero tienen ventajas para la creación de atmósfera modificada adecuada (MA), y se eliminan fácilmente por lavado antes de su consumo. Se utilizan preferentemente en frutas distintas de los cítricos y las manzanas. El quitosano, otro polisacárido, ha atraído la atención como una nueva investigación de revestimiento desde principios de 1980, ya que no sólo se comporta bien como una película semipermeable para retrasar la senescencia de productos, sino también tiene potencial como conservante de alimentos naturales debido a su actividad antimicrobiana contra una amplia gama de hongos transmitidos por los alimentos filamentosos, levaduras y bacterias (SAGOO et al., 2002).

Hoy en día, los revestimientos se utilizan en frutas y hortalizas frescas para retardar la pérdida de humedad, mejorar la apariencia de impartir brillo a la superficie, proporcionar un portador de fungicidas o reguladores del crecimiento, y crear una barrera para el intercambio gaseoso entre el producto y el ambiente externo.

## **7.2 Propiedades mecánicas, estructurales y fisicoquímicas de los materiales que podrían ser utilizados como biopelículas comestibles**

Las propiedades mecánicas de las películas comestibles se evalúan generalmente por tres parámetros: Fuerza de tensión (TS), alargamiento a la rotura (E), y módulo de Young (YM). Las propiedades mecánicas dependen del tipo de plastificante, de la cantidad, y la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

### **7.2.1 Películas y recubrimientos a base de proteínas**

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) y permeabilidad al oxígeno (PO) son las propiedades de barrera que normalmente determinan la capacidad de la película comestible para proteger el producto alimenticio desde el medio ambiente. Tanto las propiedades de barrera como las propiedades mecánicas dependen de la composición de la película y la estructura (PARK et al., 2002).

Las propiedades funcionales de las proteínas incluyen la capacidad para formar películas y recubrimientos. Las proteínas son polímeros con secuencias de aminoácidos específicas y estructura molecular. Las películas y revestimientos a base de proteínas son comestibles o biodegradables, dependiendo de la formulación, método de formación, y de modificación de los tratamientos (KROCHTA et al., 2002).

Los materiales formadores de película de proteína se derivan de diferentes fuentes animales o vegetales. Las proteínas vegetales, derivados del maíz, soja, trigo, semilla de algodón, cacahuete, arroz, guisantes, pistacho y sorgo, y las proteínas de origen animal como la caseína, proteínas de suero de leche, el colágeno, la gelatina, las proteínas miofibrilares, y albúmina de huevo proteínas serán consideradas en este capítulo.

#### **7.2.1.1 Películas y revestimientos de la Zeína**

La zeína comprende un grupo de proteínas solubles en alcohol (prolaminas) que se encuentran en el endospermo de maíz. Las películas de zeína son relativamente buenas barreras de agua en comparación con otras películas comestibles a base de proteínas, pero son mucho más pobres que el polietileno de baja densidad (LDPE) y el copolímero de etileno-alcohol vinílico (EVOH) (SMITH et al., 1986; KROCHTA et al., 1997).

Las películas de zeína son extremadamente frágiles y por lo tanto requieren plastificantes para aumentar la flexibilidad. La incorporación de plastificantes y aumento de la humedad relativa (HR) que rodea la película aumenta la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas de zeína (LAI y PADUA., 1998; WELLER et al., 1998). Los plastificantes normalmente utilizados en las películas de zeína incluyen glicerol, polietilenglicol, polipropilenglicol, y ácidos grasos (ácido oléico, esteárico, láurico, etc.), la barrera de humedad se puede mejorar por la adición de materiales lipídicos.

Los valores de la permeabilidad al oxígeno y dióxido de carbono de las películas comestibles de zeína son bajos a baja humedad relativa (GENNADIOS y WELLER., 1990; AYDT et al., 1991; GENNADIOS et al., 1993; PARK y CHINNAN, 1995; YOSHINO et al., 2002). La permeabilidad al oxígeno también aumenta con la adición de plastificante (PARK y CHINNAN et al., 1995; YAMADA et al, 1995).

GENNADIOS et al., (1993) demostraron que la fuerza de tensión de películas de zeína disminuyó linealmente con el aumento de humedad relativa y cuadráticamente con aumento de la temperatura. La adición de agentes ligantes tales como formaldehído, glutaraldehído, o ácido cítrico aumentaron la fuerza de tensión hasta el doble (YANG et al., 1996; PARRIS y COFFIN, 1997).

#### **7.2.1.2 Películas y revestimientos de soya**

Las películas aisladas de soya son transparentes y flexibles pero son pobres barreras de humedad. Las películas de proteínas de soya son potentes barreras de oxígeno a baja humedad relativa (GHORPADE et al., 1995). En similares niveles de plastificante y condiciones de ensayo, las películas de proteínas de soya tienen una permeabilidad del oxígeno similar al gluten de trigo, y de una magnitud inferior a las películas de zeína. (KROCHTA et al., 1997).

Las propiedades mecánicas de las películas de proteína de soya son moderadas en comparación con películas de plástico tales como polietileno, polipropileno, y cloruro de polivinilideno (GENNADIOS et al., 1994; KROCHTA y DE MULDER-JOHNSTON, 1997).

En comparación con otras películas de proteínas, las películas aisladas de soya presentan fuerzas de tensión similares a las películas de zeína, gluten y trigo, pero inferior elongación de ruptura, lo que indica que las películas aisladas de soya son menos resistentes (KROCHTA et al., 1997).

El calor y el pH de desnaturalización de la proteína de soya ayuda en el proceso de formación de película y la formación de enlaces disulfuro dentro de la estructura de las películas secas. Las películas de proteína de soya pueden ser formadas en condiciones alcalinas y ácidas. Las películas aisladas de soya formadas en condiciones alcalinas (pH de 8 a 10) tienen mayores fuerzas de tensión, mayor elongación de ruptura y menor permeabilidad al vapor de agua que las películas formadas en condiciones ácidas (pH 1-3) (GENNADIOS et al., 1993).

Los plastificantes se incorporan en las películas aisladas de soya para inducir la flexibilidad. El glicerol es el plastificante más ampliamente utilizado para películas aisladas de soya debido a su pequeño tamaño y su naturaleza hidrófila, que hacen que sea compatible con películas aisladas de soya (CHO y RHEE, 2002; CHOI et al., 2003; WAN et al., 2005).

La combinación con plastificantes menos higroscópicos, tales como propilenglicol, sacarosa con glicerol mejoran la barrera contra la humedad de la película aislada de soya, pero reducen la flexibilidad de película (WAN et al., 2005).

#### **7.2.1.3 Películas y revestimientos de gluten de trigo**

El gluten de trigo es una glicoproteína que se encuentra combinada con almidón. Representa 80% de las proteínas del trigo y está compuesto de gliadina y glutenina. (GUILBERT et al., 2002).

Las propiedades de barrera y mecánicas de las películas de gluten de trigo dependen de las condiciones de procesamiento, la adición de plastificantes, lípidos, y otros agentes de reticulación, y las condiciones externas como temperatura y humedad relativa.

Las películas de gluten de trigo muestran fuerzas de tensión bajas pero alta elongación de fractura (E) en comparación con otras películas. El glicerol y el agua actúan como plastificantes de películas de gluten de trigo, reduciendo fuerzas de tensión y aumentando la elongación de fractura (E) (GONTARD et al., 1993; TANADA - PALMU et al., 2000).

La temperatura de secado y la humedad relativa también afectan las propiedades mecánicas de las películas moldeadas de glicerol y gluten de trigo. Al 35 % de humedad relativa, la fuerza de tensión aumenta cuando la temperatura de secado se incrementa. Sin embargo, en el 70 % de humedad relativa, la fuerza de tensión disminuye cuando aumenta la temperatura (DAWSON et al., 2003).

GENNADIOS et al., (1993) estudió el efecto del pH sobre las propiedades mecánicas de la película de gluten de trigo. Las películas de gluten de trigo se forman dentro de un pH de 2 a 4 y 9 a 13, y la formación de película fue inhibida por la mala dispersión de proteína alrededor de la región de pH isoeléctrico (pH 7,6).

GONTARD et al., (1992) y HERALD et al., (1995) mostraron que las películas de gluten de trigo hechas a bajo pH de una solución de etanol eran más fuertes que las películas obtenidas a partir de las condiciones alcalinas. Mientras KAYSERLIOGLU et al., (2001) observaron que las películas preparadas a pH 11 eran más fuertes que las películas preparadas a pH 4 y 6. La contradicción de los resultados puede ser dada por las condiciones del experimento ya que la temperatura influye en la estructura de los aminoácidos.

La permeabilidad al vapor de agua de las películas del gluten de trigo es equivalente a la de otras películas de proteína, pero es relativamente alta en comparación con las películas sintéticas. A igual contenido de plastificante y prueba en condiciones similares, las películas de gluten de trigo preparados a partir de soluciones alcalinas parecen ser barreras contra la humedad un poco más pobres que zeína de maíz (KROCHTA et al., 1997).

La permeabilidad al vapor de agua de las películas de gluten de trigo se modifica en gran medida por el tipo de plastificante y la humedad relativa (ROY et al., 2000). Por ejemplo, a 30 °C, la permeabilidad al vapor de agua es diez veces inferior al 50 % de HR que en 93 % de humedad relativa, y la permeabilidad al vapor de agua aumentó linealmente con el aumento de la concentración de glicerol (GONTARD et al., 1993).

El uso de plastificantes hidrófobos, tales como ácidos grasos, mejora las propiedades de barrera de las películas del gluten de trigo en comparación con las películas plastificadas con glicerol (POMMET et al., 2003).

La permeabilidad al vapor de agua de las películas de gluten de trigo puede ser optimizado mediante la incorporación de materiales lipídicos para obtener una película de emulsión (si el lípido se dispersa dentro de la matriz de proteína del gluten de trigo) o una película bicapa si el lípido se deposita como una capa sobre la superficie de la película preformada de gluten de trigo. GONTARD et al., (1995) redujo la permeabilidad al vapor

de agua de las películas de gluten de trigo laminados con cera de abejas (BW) por 200 veces en comparación con una película de gluten de trigo de control sin revestir (GONTARD et al., 1994).

Las propiedades de barrera de gas dependen en gran medida de la humedad relativa y la temperatura. Este efecto es más pronunciado para los gases hidrófilos ( $\text{CO}_2$ ) que para los gases hidrófobos ( $\text{O}_2$ ) (GONTARD et al., 1996; MUJICA - PAZ y GONTARD, 1997).

Las propiedades mecánicas y permeabilidades de vapor de agua de películas ricas en glutenina plastificados con glicerol cambian drásticamente con el tiempo, mientras que las propiedades de las películas plastificadas con trietanolamina y sorbitol se mantienen estables durante el almacenamiento (HERNÁNDEZ - MUÑOZ et al., 2004).

#### **7.2.1.4 Películas de semillas de algodón**

Las proteínas de semillas de algodón representan el 30 % a 40 % (p / p) del núcleo de la semilla de algodón. Otros componentes importantes de semillas de algodón incluyen lípidos, hidratos de carbono solubles, celulosa, minerales, fitatos y pigmentos polifenólicos. Las proteínas son principalmente globulinas (60%) y albúminas (30 %) con una menor proporción de prolaminas (8,6 %) y gluteninas (0,5 %) (SAROSO et al., 1989).

Las proteínas de semillas de algodón tienen un alto contenido de ácidos ionizables, aminoácidos (ácidos aspártico y glutámico, argidina, histidina, y lisina) y bajo contenido de aminoácidos de azufre (MARQUIE y GUILBERT., 2002).

Las películas de la harina de semilla de algodón son muy hidrófilas debido a su contenido de proteínas (MARQUIE y GUILBERT., 2002).

Las películas de semillas de algodón son más débiles que las elaboradas con otras proteínas y películas sintéticas. Además son excesivamente frágiles, y que requieren la presencia de plastificantes. Las propiedades mecánicas de las películas de algodón dependen de la fuente de harina, agentes de reticulación químicos, temperatura, humedad relativa, y el nivel de glicerol (MARQUIE et al., 1996).

Las diferencias en la composición de la harina también influyeron en la solubilidad de la película. En las películas de proteínas, el gosipol fortalece la red de proteínas, atrapando lípidos dentro de la estructura de la proteína y por lo tanto provoca la reducción de la solubilidad de la película.

Las propiedades mecánicas de las películas de semilla de algodón se mejoran por agentes de reticulación, tales como formaldehído o glutaraldehído (MARQUIE et al., 1995). El formaldehído produce películas más resistentes que el glutaraldehído. El porcentaje de lisina que reacciona con estos compuestos está estrechamente correlacionado con la resistencia a la perforación de las películas (MARQUIE et al., 1997).

### 7.2.1.5 Películas y revestimientos de proteína de suero

Las proteínas del suero permanecen en el suero de la leche después de la fabricación de queso o caseína. Los recubrimientos elaborados a base de proteínas de suero son completamente biodegradables, permitiendo el aprovechamiento del residuo y reduciendo la contaminación que implica la disposición final de éste a cuerpos de agua. Entre los principales beneficios que le confiere el recubrimiento al producto están: mejor estabilidad y apariencia, facilidad de manejo, protección del sabor y aroma, y aumento del tiempo de conservación postcosecha (YOSHIDA y ANTUNES et al., 2004).

Las películas de proteínas de suero de leche son transparentes, suaves y flexibles y tienen una excelente barrera al oxígeno. Por otro lado, estas películas son pobres barreras contra la humedad debido a su carácter hidrófilo.

En comparación con los materiales sintéticos las películas de proteína de suero plastificadas tienen permeabilidad al vapor de agua casi un orden de magnitud mayor que el celofán y casi cuatro órdenes de magnitud mayor que el polietileno de baja densidad (LDPE) en condiciones de prueba comparables y con nivel adecuado de plastificante. Incluso en baja humedad relativa y baja cantidad de plastificante, la permeabilidad al vapor de agua de las películas de proteína de suero aislado es tres órdenes de magnitud mayor que la de LDPE.

En comparación con otras películas de proteínas, las películas de la proteína aislada de suero parecen ser barreras contra la humedad más pobres que las elaboradas con gluten de trigo, proteína de soja, caseína, y zeína. La incorporación de materiales lipídicos mejora las propiedades de la permeabilidad al vapor de agua mediante el aumento de la hidrofobicidad (SHELLHAMMER y KROCHTA., 1997). Entre los lípidos que se han añadido a las películas de proteína de suero para formar películas de emulsión están los monoglicéridos acetilados, ceras, alcoholes grasos y ácidos grasos. El aumento del contenido de lípidos de las películas disminuye la permeabilidad al vapor de agua, pero la velocidad a la que se disminuye depende del tipo de lípido. El aumento de la longitud de la cadena de ácidos grasos y alcoholes grasos también reduce la permeabilidad al vapor de agua de las películas de emulsión de proteína aislada de suero (MCHUGH y KROCHTA et al., 1994). Sin embargo, el aumento de la concentración de aceite de soja no afecta la permeabilidad del vapor al agua de películas compuestas de proteína aislada de suero (SHAW et al., 2002).

La permeabilidad al oxígeno de las películas de proteína de suero es inferior a la del polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad (LDPE) y es comparable a la de película de etileno de alcohol vinílico (EVOH) en condiciones similares de plastificante y humedad relativa (MCHUGH y KROCHTA., 1994). Las películas de proteína de suero aislado tienen menor permeabilidad al oxígeno cuando es plastificado con sorbitol que con glicerol. MATÉ y KROCHTA (1996) observaron un aumento de la permeabilidad al oxígeno de las películas de proteína aislada de suero y  $\beta$  - lactoglobulina cuando el contenido el glicerol y la humedad relativa aumentaron.



### **7.2.1.6 Películas y revestimientos de caseína**

La caseína es la principal proteína en la leche. Se trata de una proteína única, ya que sólo se sintetiza en la glándula mamaria y en ningún otro lugar en la naturaleza se encuentra (FOX y MCSWEENEY., 1998).

YANINI et al., (2007) demostró que las películas elaboradas a base de caseinato cálcico presentan mayores valores de tensión de fractura que las películas elaborados a base de caseinato sódico, lo que se traduce en que las películas que incorporan caseinato cálcico son menos elásticas, efecto que podría asociarse a las diferencias electrostáticas y los posibles entrecruzamientos generados por el ión calcio en la matriz de la película. La incorporación de ácido oleico y/o cera de abeja, tanto trabajando con caseinato sódico como con caseinato cálcico, provoca un descenso en el módulo de elasticidad y tensión de fractura, y un aumento en la deformación hasta el punto de fractura lo que da lugar a películas más flexibles y deformables.

En relación al tipo de caseinato se observa que la permeabilidad al vapor de agua disminuye para las películas formuladas con caseinato cálcico que con el sódico, efecto que puede atribuirse al entrecruzamiento favorecido por la presencia de iones calcio, lo que puede favorecer las interacciones entre moléculas que limitan la movilidad del polímero y disminuyen el espacio intermolecular.

Las películas de caseinato son transparentes y flexibles, pero tienen mala barrera de humedad en comparación con las películas sintéticas (KROCHTA et al., 1997). El aumento de contenido de humedad y contenido de plastificante aumentaron la permeabilidad del vapor de agua de las películas de caseína (SIEW et al., 1999; SCHOU et al., 2005).

### **7.2.1.7 Películas de proteínas de colágeno y gelatina**

El colágeno es un componente protéico de la piel, los tendones y tejidos conectivos. Es una proteína fibrosa producida por auto-ensamblaje de moléculas de colágeno en la matriz extracelular, que proporciona resistencia a la tracción de tejido animal (TROTTER et al., 2000).

No hay datos sobre la permeabilidad al vapor de agua de películas de colágenos reportados en la literatura científica. LIEBERMAN y GILBERT (1973) estudiaron los efectos de la humedad, el contenido de plastificante, la desnaturalización y la reticulación de la permeabilidad de las películas de colágeno a los gases. El aumento de humedad relativa y el nivel de plastificantes diol alifáticos aumentaron la permeabilidad al oxígeno rápidamente. Curiosamente, la adición de sorbitol baja la permeabilidad, lo cual se atribuye a la interacción con la cadena lateral activa de colágeno de una manera tal que restringe la movilidad segmentaria.

El colágeno desnaturalizado por calor redujo la permeabilidad al oxígeno de las películas de colágeno, probablemente debido a una disminución en el volumen libre en la estructura más al azar de la proteína desnaturalizada. Contrariamente a lo esperado, el entrecruzamiento con formaldehído o iones de cromo aumenta la permeabilidad al gas. Esto se atribuyó a un aumento en la absorción de la humedad de las películas reticuladas debido a la mayor separación entre las cadenas de colágeno.

Las películas comestibles de gelatina pueden ser buenas barreras de gas, pero pobres a las barreras de agua. Las películas comestibles de gelatina son claras, flexibles y fuertes. Los principales parámetros que afectan las propiedades de formación de película de gelatina son la fuente de materia prima, el método de extracción, el peso molecular, el método de preparación de la película, y el grado de hidratación o presencia de plastificante (ARVANITOYANNIS et al., 2002).

#### **7.2.1.8 Películas de proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas**

Las proteínas miofibrilares se encuentran en las carnes (por ejemplo, carne de vaca, oveja, cerdo y aves de corral) y los peces. Estas proteínas representan el componente principal de los músculos y se componen principalmente de la miosina y la actina, independientemente de si la fuente de proteína es de mamífero o de pescado. La asociación de la miosina y la actina forma proteínas contráctiles llamadas actomiosina (CUQ et al., 2002).

Las películas de proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas presentan buena barrera contra el oxígeno y las propiedades mecánicas. La permeabilidad al oxígeno de películas basadas proteína miofibrilar de pescado fue inferior en tres órdenes de magnitud a la de polietileno de baja densidad (GONTARD et al., 1996).

Las películas de proteínas miofibrilares presentan fuerzas de tensión más altas que otras películas a base de proteínas, tales como el gluten de trigo, proteína de soya, y zeína de maíz. Sin embargo, estas películas son menos elásticos que otros biopolímeros. En comparación con las películas sintéticas, las películas de proteínas miofibrilares tienen fuerzas de tensión similares a los polietilenos de baja densidad. Las propiedades mecánicas de las películas de proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas están muy influenciadas por el contenido de proteínas, la cantidad de plastificante, y el contenido de humedad (PASCHOALICK et al., 2003; GARCÍA y SOBRAL., 2005; SOBRAL et al., 2005)

La barrera contra la humedad de las películas de proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas es similar a la de otras películas a base de hidrocoloides. La permeabilidad al vapor de agua de estas películas está fuertemente influenciado por el tipo de plastificante y la cantidad, así como por el contenido de humedad (PASCHOALICK et al., 2003).

#### **7.2.1.9 Películas de proteínas de clara de huevo**

La clara de huevo es una mezcla de ocho proteínas globulares: ovoalbúmina, ovotransferrina, ovomucoide, ovomucina, lisozima, globulina G2, G3 globulina, y avidina. La ovoalbúmina, la ovotransferrina, y la ovomucoide constituyen 54%, 12%, y 11% del peso total de proteína, respectivamente. La ovoalbúmina es la única fracción que contiene grupos sulfhidrilo libres. La ovotransferrina, la ovomucoide, y la lisozima contienen enlaces disulfuro (MINAS et al., 1995).

HANDA et al., (1999) encontraron una clara correlación entre la concentración de grupos SH, la fuerza de tensión, la elongación de ruptura y la materia soluble total de la película. La desnaturalización térmica y alcalina de la solución de proteína aumentó la concentración de grupos SH en las soluciones de proteína de clara de huevo.

GENNADIOS et al., (1996) mostraron que, independientemente del plastificante añadido (glicerol o sorbitol), la fuerza de tensión disminuyó y la elongación de ruptura aumentó con el aumento de nivel de plastificante.

La permeabilidad al vapor de agua de las películas de clara de huevo disminuyó de 6,21 a 5,62 g\*mm/m<sup>2</sup> \* h \* kPa por adición de sólidos de yema de huevo (50 % p / p de total de sólidos de huevo), que contienen lípidos de la yema de huevo (32 % a 36 % sobre la base húmeda en la yema de huevo) (GENNADIOS et al., 1996).

### **7.2.2 Películas y recubrimientos a base de lípidos, ceras y resinas**

Los lípidos se añaden normalmente a los recubrimientos de alimentos con el fin de impartir hidrofobicidad y por lo tanto reducir la pérdida de humedad (BALDWIN et al., 1997), su función principal es proporcionar lubricación a la materia prima a medida que pasa a través de los procesos de clasificación y embalaje.

Las ceras son los lípidos más comunes utilizados en los revestimientos, tanto que la palabra de cera se utiliza comúnmente para referirse a cualquier revestimiento como cera de abejas, cera de carnauba, cera de polietileno o cera de candelilla.

Las películas comestibles basadas en lípidos tienen una baja afinidad por el agua, lo que explica la baja permeabilidad a la humedad. Sin embargo, cada sustancia hidrófoba tiene sus propiedades físico-químicas. Por lo tanto, las películas comestibles que se basan en lípidos presentan comportamientos variables contra la transferencia de humedad (CALLEGARIN et al., 1997).

Las ceras son las sustancias más eficaces para reducir la permeabilidad a la humedad, debido a su alta hidrofobicidad causado por su alto contenido de alcoholes y alcanos grasos de cadena larga, la sustancia más eficiente es la cera de abejas.

Los ácidos grasos insaturados son menos eficientes en el control de la migración de humedad, debido a que son más polares y muestran diferentes tendencias de cristalización que los lípidos saturados. De hecho, las películas que contienen ácidos esteárico o palmítico reducen mejor la desecación de las naranjas que los revestimientos compuestos de ácido oleico (HAGENMAIER y BAKER et al., 1997).

La conformación de los ácidos grasos insaturados es importante también, porque sus estructuras químicas (por ejemplo, conformación molecular) son diferentes. Además del estado físico, la cristalización cambia con el grado de insaturación, y en consecuencia modifica densidad de la película y la permeabilidad. Las películas comestibles que contienen lípidos se pueden obtener usando diferentes técnicas que determinan la estructura de barrera.

Debido a sus propiedades mecánicas pobres, los lípidos se utilizan a menudo en combinación con un soporte, que a veces puede ser considerado como un modelo de alimento a ser recubierto. Algunas de estas sustancias de soporte son la metilcelulosa, el glicerol, carboximetil celulosa, gluten, o proteínas como el caseinato de sodio y la proteína de suero. Sin embargo, este apoyo puede influir fuertemente en propiedades de la película mediante la modificación de la distribución de sustancias hidrófobas. Si el

soporte es poroso, la barrera es menos eficiente debido a que la superficie a proteger es mucho mayor y una superficie rugosa hace que la aplicación de una capa de recubrimiento continuo y regular sea más difícil.

Un revestimiento de barrera puede ser eficaz sólo si forma una capa homogénea y continua sobre toda la superficie del producto alimenticio a ser protegido. Cuando aparecen grietas, todas las propiedades de barrera se pierden. La continuidad y la homogeneidad de la barrera también dependen en gran medida de espesor de la película.

### **7.2.3 Películas y recubrimientos a base de polisacáridos**

Los recubrimientos de polisacáridos son generalmente pobres barreras contra la humedad, pero en contraste tienen permeabilidad moderadamente baja al oxígeno y, al mismo tiempo, permeabilidad selectiva al  $O_2$  y  $CO_2$  (LACROIX y LETIEN et al., 2005).

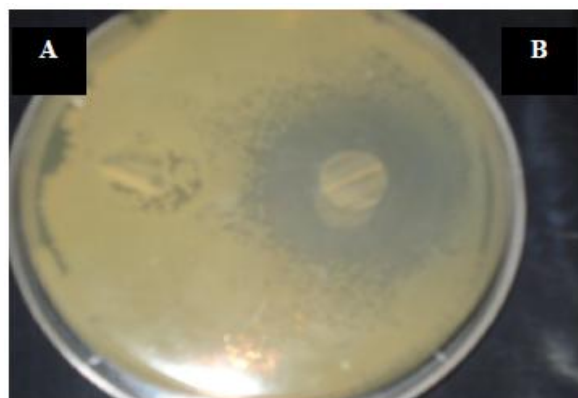
Por lo tanto, los recubrimientos basados en polisacáridos, como la mayoría de los hidrocoloides, se han aplicado a menudo a las frutas y verduras, ya sean frescas o mínimamente procesadas, para reducir su respiración mediante la creación de condiciones de atmósfera modificada dentro del producto, proporcionar una barrera parcial a la humedad, mejorar las propiedades de manejo mecánico, llevar a los aditivos, así como contribuir a la retención e incluso la producción de compuestos volátiles (NISPEROS - CARRIEDO y BALDWIN., 1990; OLIVAS y BARBOSA- CÁNOVAS, 2005).

#### **7.2.3.1 Almidón**

Los almidones constituyen el polisacárido de reserva de la mayoría de las plantas, así como un nutriente a granel de origen natural y fuente de energía de bajo costo para la nutrición humana. El almidón es el alimento más utilizado debido a su bajo costo relativo a las alternativas, así como la amplia gama de propiedades funcionales que puede proporcionar en sus formas nativas y modificadas, incluyendo la mejora en la formación de la película de los recubrimientos.

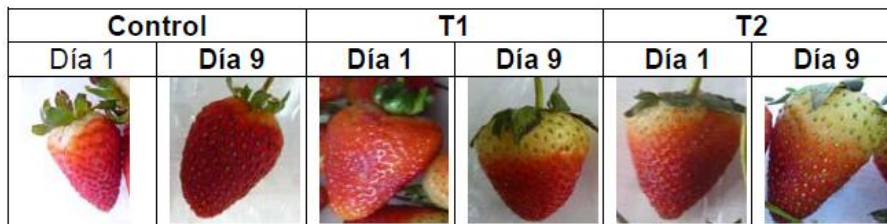
El almidón generalmente se adiciona con los aceites procedentes de clavo, canela, mostaza, orégano, romero y tomillo que poseen actividad antimicrobiana acentuada. Los aceites esenciales contienen un alto porcentaje de compuestos fenólicos como el carvacol (componente mayoritario del orégano), el timol (procedente del tomillo), o el eugenol (componente mayoritario del clavo). La funcionalidad del almidón se debe en gran parte a sus dos componentes de alto peso molecular: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es la responsable de la capacidad de formación de películas. El contenido de amilosa en el almidón de plátano es de 35 % y ha sido utilizado para elaborar películas con el almidón nativo de plátano (ROMERO et al., 2011).

ROMERO et al., (2011) determinaron que usando almidón de plátano con 1,5% de aceite esencial de canela y una solubilidad de 26,55%, la película obtenida logra un control del crecimiento bacteriano. Sin embargo, las películas que no contenían antibacterianos, sin el aceite esencial de canela no mostraron un efecto inhibitorio tal como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Zona de inhibición de las películas de almidón de plátano oxidado, control (puré de manzana con almidón oxidado de plátano) (A) y con 1.5 % de aceite esencial de canela (B) utilizando *Staphylococcus aureus*. Fuente: ROMERO-BASTIDA et al., 2011)

La aplicación de un recubrimiento comestible de un polisacárido tipo dextrana no presentó cambios significativos en las características fisicoquímicas de fresas almacenadas en refrigeración, pero si presentó efecto en cuanto a disminución en pérdida de peso y conservación de propiedades mecánicas. Sin embargo, el tratamiento de la dextrana con glicerol (0,5%) presentó mayor pérdida de peso en almacenamiento a 5°C, lo cual se observó visualmente con signos de deshidratación en la superficie (Fig. 3). (MONCAYO et al., 2007).



**Figura 3.** Seguimiento visual a las fresas control y tratadas con dextrana y glicerol (T1) o sorbitol (T2) (0,5 % w/v) durante el almacenamiento. Fuente: MONCAYO et al., 2007

### 7.2.3.2 Quitosano

El quitosano es un hetero polisacárido que se encuentra en casi un tercio del total de la pared celular de algunos hongos (AGULLÓ et al., 2003), sin embargo, su principal fuente de obtención es mediante la desacetilación alcalina de la quitina, es decir, la pérdida del grupo acetilo del grupo amida del carbono 2. (MAJETI y KUMAR., 2000). El quitosano tiene muchas propiedades específicas tales como la actividad antimicrobiana, no toxicidad y la afinidad notable a las proteínas. (VALENZUELA y ARIAS et al., 2012).

El quitosano es un potente agente viscosante, soluble en medio ácido debido a la protonación de la multitud de grupos amino presentes en su estructura, lo cual produce un aumento en la polaridad y repulsiones electroestáticas. La viscosidad de las soluciones aumenta al incrementar la concentración del quitosano, mientras que disminuye al elevar la temperatura y el grado de desacetilación (GARCÍA et al., 2008).

### 7.2.3.3 Pectinas

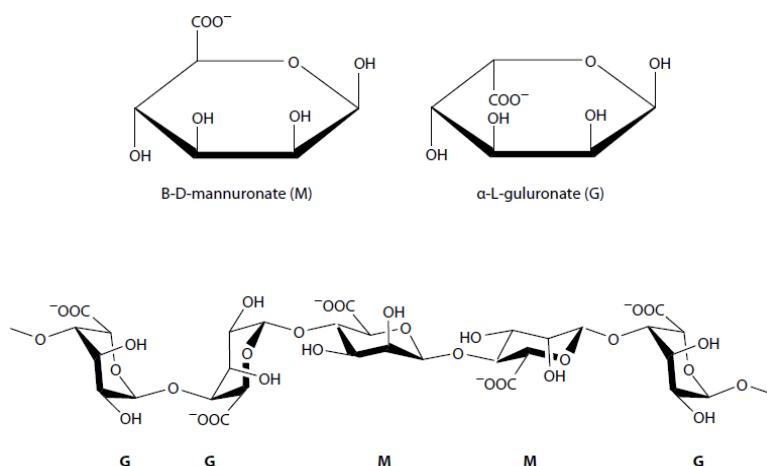
Las pectinas son una familia de polisacáridos complejos presentes en todas las paredes celulares de las plantas. La columna vertebral de la pectina contiene unidades  $\alpha$ -D- de ácido galacturónico (RIDLEY et al., 2001).

A diferencia de la mayoría de los geles de polisacáridos, la estructura de los geles de pectina es considerada como irreversible en la calefacción (los geles no se funden). Cuanto mayor sea el peso molecular y la concentración de pectina, más fuerte es el gel.

Actualmente, la pulpa de manzana y la piel de cítricos son las principales fuentes de pectina comercial utilizada como agentes formadores de película, mientras que otras fuentes potencialmente valiosas no se utilizan debido a ciertas propiedades estructurales indeseables. (LOPES DA SILVA y RAO, 2006).

### 7.2.3.4 Alginato

El alginato es un término genérico para las sales y derivados de ácido algínico. El ácido algínico es un polisacárido de alto peso molecular que consiste en proporciones variables de ácido D- manurónico y ácido L - gulurónico. Este polisacárido se considera una familia de copolímeros binarios no ramificados de ( 1  $\rightarrow$  4 ) – vinculado  $\beta$  - D- ácido manurónico ( M ) y  $\alpha$  - L - ácido gulurónico ( G ) siendo la variación dependiente principalmente de las especies de algas marinas de las que se aisló el ácido algínico (DRAGET et al., 2006).



**Figura 4.** Estructura y conformación de los alginatos: Monómeros y cadenas de conformación. Fuente: BALDWIN et al., 2012.

Los alginatos comerciales se desarrollan sobre todo de algas *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria hyberborea*, *Laminaria digitata*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria japonica*, *Edonia maxima*, *nigrescens Lessonia*, *Durvillea Antártida*, y *Sargassum spp.* (DRAGET et al., 2005). Las propiedades de formación de gel de los alginatos son principalmente debido a su capacidad para unirse a un número de iones divalentes como el calcio y están fuertemente correlacionados con la proporción y la longitud de los bloques de ácido gulurónico en sus cadenas poliméricas. Una reacción de unión muy rápida e irreversible de cationes multivalentes es típica para los alginatos; una mezcla directa de estos dos componentes por lo tanto, rara vez produce geles homogéneos.

Las aplicaciones industriales de los alginatos se enlazan a su capacidad para retener el agua, y sus propiedades de formación de película, gelificantes, aumentador de la viscosidad, y la estabilización. Además poseen buenas propiedades de formación de película, que los hacen particularmente útiles en aplicaciones alimentarias. (DRAGET et al., 2005).

Los alginatos pueden utilizarse como recubrimientos comestibles por su capacidad de formar geles en presencia de sales de calcio, de ésta manera el alginato de sodio soluble y las sales de calcio producen un gel de alginato de calcio insoluble; estructuralmente los iones de calcio sustituyen a los iones de sodio de 2 moléculas adyacentes para producir un complejo entrecruzado o una red de polímero (ANUSAVICE., 2004).

GUILLEN – ROMÁN et al., (2010) mostraron que los recubrimientos a base de alginato de sodio son buenas barreras ante el vapor de agua, utilizaron alginato de sodio con dos diferentes concentraciones 2% y 4 % integrando extractos polifenólicos de *Acacia angustissima* como antioxidantes y antimicrobianos. La permeabilidad al vapor de agua de la matriz polimérica de alginato de sodio se ve favorecida con el aumento de concentración de dicho componente, al igual que al aumentar la concentración de glicerol, como plastificante, debido a la naturaleza hidrofílica de ambos componentes.

#### **7.2.3.5 Carragenos**

La carragenina es un nombre genérico para una familia de galactanos, naturales, solubles en agua sulfatados que se aíslan de algas rojas, a saber, a partir de varias especies de la *Rhodophyta*. Los carragenanos, son formadores de película, se utilizan principalmente en la industria alimentaria como agentes de textura (BIXLER et al., 1996; DE RUITER y RUDOLPH., 1997).

El uso potencial de carragenanos cubre aplicaciones como agentes de recubrimiento que controlan la transferencia de humedad, gases, sabores, y los lípidos en sistemas de alimentos diversos (KARBOWIAK et al., 2006). Otra aplicación emergente prometedor de los revestimientos a base de carragenina es su uso como vehículos de agentes antimicrobianos (CHOI et al., 2005).

Para la mayoría de estas aplicaciones, se necesitan plastificantes con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y estructurales. Los geles rígidos formados a partir de la  $\kappa$  - carragenina se pueden volver más elásticos mediante la incorporación de otros hidrocoloides. La goma de algarrobo forma una asociación cooperativa excepcional con la estructura de doble hélice de carragenanos, aunque esto puede dar geles con una claridad deficiente (PICULELL et al., 2006).

#### **7.2.3.6 Goma de Xantan**

La goma de Xantan es el polisacárido bacteriano importante utilizado por la industria alimentaria, obtenido a partir de la secreción de una amplia gama de bacterias del género *Xanthomonas*. Se produce comercialmente a partir del microorganismo *Xanthomonas campestris*. La goma de xantano es un pentasacárido, y su estructura es idéntica a la de la celulosa (GARCÍA - OCHOA et al., 2000). La goma Xantan se dispersa fácilmente en agua y tiene propiedades de formación de película. Las soluciones acuosas de goma de

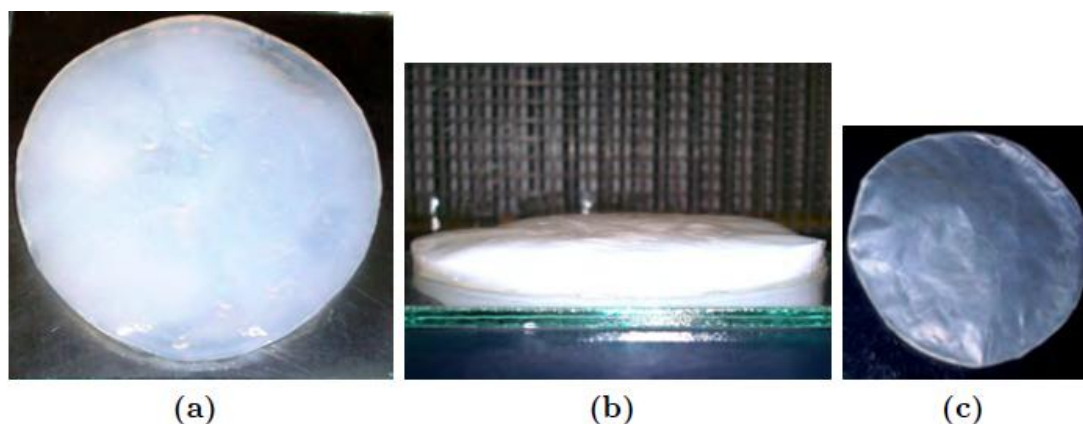
xantano son tixotrópicas, exhibiendo así una alta viscosidad a bajas velocidades de cizallamiento. Debido a la conformación molecular única de la estructura, se considera como la goma más estable en medio ácido (MORRIS et al., 2006).

Los geles de goma de Xantan son más eficientes que los geles de alginato y carragenina en la recuperación de su estructura porosa después de la compresión. Por lo tanto, los geles aumentan la elasticidad en comparación con otros polímeros y son muy adecuados para ser utilizados para la liberación controlada de fármacos y otros compuestos bioactivos (COVIELLO et al., 2007). El comportamiento reológico inesperado de soluciones acuosas de xantano ha dado lugar a una amplia gama de aplicaciones para un número de razones importantes, incluyendo estabilización de la emulsión, estabilidad de temperatura, compatibilidad con los ingredientes de alimentos, y sus propiedades reológicas pseudoplásticas. Debido a sus propiedades espesantes, se ha utilizado como un agente dispersante y estabilizante de emulsiones y suspensiones en formulaciones farmacéuticas, cosméticos o productos agrícolas (GARCÍA - OCHOA et al., 2000).

### 7.2.3.7 Celulosa bacteriana

La celulosa bacteriana se produce por la fermentación microbiana realizada por *Acetobacter xylinum* junto con otros coadyuvantes, como la sacarosa y la carboximetilcelulosa, que favorecen una mayor dispersión del producto. La película es una barrera física que protege a la bacteria de la radiación UV, aumenta la capacidad de colonizar sustratos y su carácter altamente higroscópico le permite retener humedad previniendo la desecación del sustrato (CHÁVEZ et al., 2004). Las técnicas para producir celulosa bacteriana son el cultivo estático y el agitado; en cada técnica se obtiene celulosa con morfología diferente (CAICEDO et al., 2012).

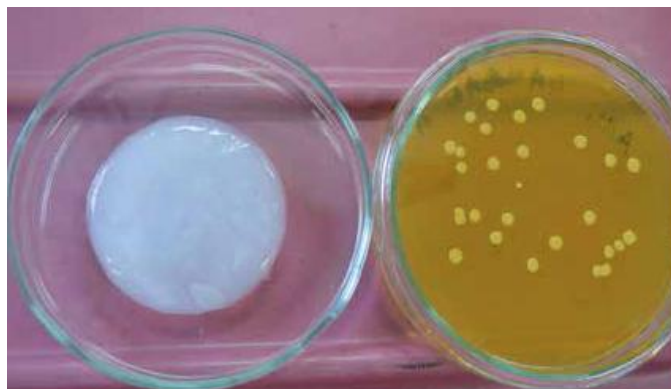
**Cultivo estático:** En el cultivo estático, la celulosa se obtiene en forma de gel, en el cual la celulosa es aproximadamente el 1% del peso total. El principal inconveniente con las fermentaciones en cultivo estático es que se requiere de tiempos largos y una gran área superficial, lo que no hace práctica su producción a gran escala. La figura 5 muestra la formación de celulosa bacteriana a partir de un cultivo estático.



**Figura 5:** Celulosa bacteriana obtenida por cultivo estático: (a) Vista frontal y (b) transversal de la celulosa después del proceso de purificación. (c) Celulosa seca. Fuente: CAICEDO MESA y CARREÑO PIENA., 2012.

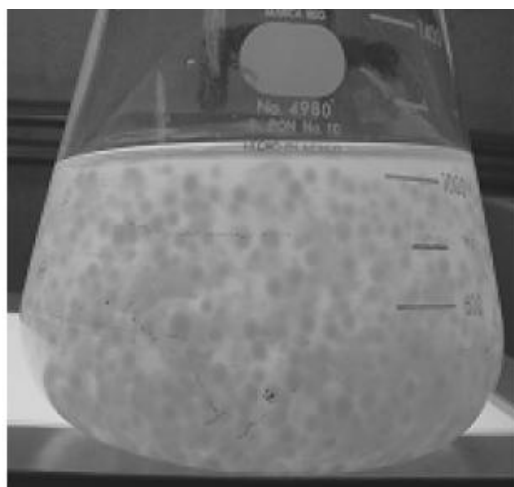


RAMÍREZ GIRALDO., (2013) hallaron un microorganismo nativo colombiano que resultó ser una nueva especie del género *Gluconacetobacter*, que no se había identificado antes en el mundo; así mismo, esta cepa es capaz de producir celulosa químicamente pura con altas características, ideales para ser usadas en muchas aplicaciones en nuestro país. Esta es una bacteria estrictamente aerobia, capaz de sintetizar celulosa como una membrana en la superficie de medios líquidos. La membrana de celulosa está constituida por una red de cintas de tamaño nanométrico, responsables de su buen comportamiento mecánico y sus propiedades fisicoquímicas como capacidad de absorber agua, porosidad, intercambio gaseoso, bio compatibilidad, entre otras. La figura 6 muestra la generación de celulosa bacteriana por el microorganismo *Glucanoacetobacter medellinensis*.



**Figura 6.** Celulosa bacteriana generado por *Glucanoacetobacter medellinensis*. Fuente: RAMIREZ et al ., 2003.

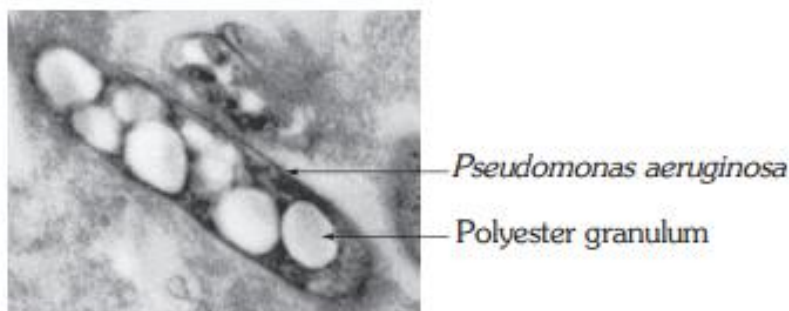
**Cultivo Agitado:** Al realizar las fermentaciones en cultivo agitado se pueden obtener pellets de celulosa o aglomeraciones amorfas de las fibras, los cuales pueden realizarse por lotes o en continuo, en reactores de tanque agitado. El cultivo agitado se investiga con miras a escalar el proceso a nivel industrial, pero las bajas productividades reportadas, menores que en cultivos estáticos, hacen que no sea fácil su escalamiento; la baja productividad es ocasionada por la agitación que favorece el crecimiento de células no productoras de polímero que consumen el sustrato, denominadas celulosa(-). La figura 7 muestra la producción de celulosa bacteriana mediante cultivo agitado.



**Figura 7.** Gránulos de CB en cultivo agitado. Fuente: CHAVEZ, J.L; YEE, S.M; ZENTELLA M.C. et al., 2004.

### 7.2.3.8 Polihidroxialcanoatos (PHA)

Los polihidroxialcanoatos (PHAs ó polímeros de hidroxialcanoato) son bio poliésteres producidos por muchas especies de bacterias, las cuales los almacenan como fuentes de carbono y energía bajo condiciones limitadas de nutrientes en presencia de un exceso de carbono en el medio (KIM DY et al., 2007.); estos se almacenan en forma de gránulos en el citoplasma, el número de gránulos depende de la presencia de 'phasins' las cuales son proteínas estructurales anfifílicas que se producen en la superficie del gránulo (TSUGE et al., 2002). Una de las especies productoras de PHA es la *Pseudomonas aeruginosa* mostrada en la figura 8.



**Figura 8.** Imagen por microscopia electrónica donde se muestra la acumulación de PHAs por *Pseudomonas aeruginosa*.  
Fuente: SERRANO RIAÑO., 2010

Entre los microorganismos más trabajados se pueden mencionar la *Ralstonia eutrophus*, *Aeromonas caviae*, *Alcaligenes latus*, *Pseudomonas putida* CA-3, Metilobacterias, bacterias fotosintéticas no sulfurantes, productores naturales de PHA recombinantes, y la producción de PHAs en células eucariotas (DEMARCO S. et al., 2005).

Los PHAs son: bio-reabsorbibles, bio-compatible, foto resistentes, resistentes al calor, termo-moldeables, barreras de oxígeno, hidro fóbicos, resistentes a químicos, en los procesos de separación y purificación no son necesarios solventes peligrosos. El proceso de producción es continuo y escalable. El proceso completo es amigable con el medio ambiente. Tiene bajas probabilidades de contaminación cruzada debido a organismos vivos modificados.

Los PHA son poliésteres de reserva producidos por bacterias sometidas a condiciones de estrés, las cuales las sintetizan en varias formas químicas con distintas propiedades: punto de fusión, cristalización, flexibilidad, resistencia a la tracción, velocidad de biodegradación.

### **7.3 Efectividad de los materiales de recubrimiento**

#### **7.3.1 Películas y recubrimientos a base de proteínas**

##### **7.3.1.1 Películas de proteínas de la Zeína**

La zeína es una de las pocas proteínas, como el colágeno y la gelatina, empleados como un recubrimiento comestible para alimentos y productos farmacéuticos. Los recubrimientos de la zeína se utilizan para nueces, caramelos, productos de confitería, y otros alimentos y para la liberación controlada de ingredientes (GENNADIOS y WELLER., 1990; YOSHIMARU et al., 2000). Trabajos recientes en la literatura muestran el efecto de los recubrimientos de zeína en la calidad de manzanas, mangos, y huevos con cáscara (BAI et al., 2002; HOA et al., 2002).

Los recubrimientos con zeína también son capaces de reducir la absorción de aceite en la fritura de la pasta de frijol y de los productos con almidón. Los recubrimientos comestibles de zeína que contienen Nisina, propionato de calcio, o ácido sórbico se han estudiado para controlar la *Listeria monocytogenes* de pollo cocinado (JANES et al., 2002; CARLIN et al., 2001).

##### **7.3.1.2 Películas y revestimientos de soya**

La proteína de soja y las películas de la goma gellan, solas o en combinación, son capaces de reducir el consumo de grasas en los alimentos fritos (ALBERT Y MITTAL., 2002; RAYNER et al., 2000). Películas de proteínas de soja han reducido la oxidación de lípidos y retuvieron la humedad de los filetes de salmón rosado durante el almacenamiento congelado y empanadas de carne precocidos (SATHIVEL et al., 2005; WU et al., 2000).

Las proteínas aisladas de soja que llevan compuestos antimicrobianos (nisina y extractos naturales) han mostrado efectos inhibidores contra *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos listos para comer (THEIVENDRAN et al., 2006).

##### **7.3.1.3 Películas y revestimientos de gluten de trigo**

Los revestimientos del gluten de trigo han reducido la pérdida de peso de los tomates cherry (TANADA-PALMU et al., 2000). Una película de gluten de trigo redujo significativamente la pérdida de peso de cubos de queso. Los revestimientos de gluten de trigo también redujeron la pérdida de humedad y la oxidación de los lípidos durante la refrigeración de empanadas de carne precocidos (WU et al., 2000).

##### **7.3.1.4 Películas y revestimientos de proteína de suero**

Los recubrimientos de proteína de suero han demostrado reducir el pardeamiento enzimático de las manzanas recién cortadas y papa (LE TIEN et al., 2001; PÉREZ-GAGO et al., 2006). Las películas de proteína de suero aislado (WPI) que contienen ácidos p-aminobenzoico fueron eficaces para controlar el crecimiento de *Listeria monocytogenes* en los perros calientes y *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157: H7 y *Salmonella enterica* de mortadela y salchichas (CAGRI et al., 2002).

#### **7.3.1.5 Películas y revestimientos de caseína**

Los recubrimientos comestibles a base de caseína han reducido la tasa de respiración y la pérdida de humedad de las zanahorias, calabacines, las manzanas (AVENA - BUSTILLOS et al., 1994). Un trabajo más reciente demuestra el potencial de los termoplásticos y materiales compuestos a base de proteínas de caseína como polímeros biodegradables alternativos para aplicaciones biomédicas (VAZ et al., 2003).

#### **7.3.1.6 Películas de proteínas de colágeno y gelatina**

El colágeno se utiliza para hacer las películas de proteínas comestibles más exitosas comercialmente. Las tripas de colágeno se utilizan para la producción de embutidos y otros productos cárnicos. Otras aplicaciones que se han estudiado incluyen el efecto de la envoltura de la película de colágeno en la exudación y la oxidación lipídica del filete redondo de carne congelada (FAROUK et al., 1990).

Los recubrimientos de gelatina antimicrobiana que contiene ácido benzoico también fueron eficaces en la reducción de las cargas microbianas de filetes de tilapia sin afectar a los atributos sensoriales (OU et al., 2002). La combinación de gelatina y cloruro de calcio forman recubrimientos comestibles que resultaron efectivas para la prevención de oscurecimiento después de la cocción de patatas blanqueadas con agua (MAZZA y QI, 1991).

#### **7.3.1.7 Películas de proteínas miofibrilares**

La aplicación de recubrimientos comestibles a base de proteínas miofibrilares modificaron ligeramente los perfiles de textura de trozos de pescado en comparación con el control sin recubrir, principalmente por el aumento de la resistencia mecánica. En general, la resistencia mecánica de la carne recubierta aumentó a medida que aumentó el espesor del recubrimiento. Los recubrimientos comestibles probados parecían ser demasiado resistentes para tales aplicaciones y tendrían que ser debilitados (CUQ et al., 1996).

#### **7.3.1.8 Películas de proteínas de clara de huevo**

La albúmina de huevo se ha estudiado por su potencial para retener la humedad en el interior de las pasas de uva en las mezclas de cereales / pasas y en el interior de los productos cárnicos (REUTIMANN et al., 1996). Las combinaciones de clara de huevo, proteína de suero, y almidón pre gelatinizado se han utilizado para preparar componentes de los alimentos de diferente contenido de humedad, tales como pasteles, pan, bases de pizza, de coberturas, rellenos, aderezos, salsas, y así sucesivamente (BERBERAT y WISSGOTT et al., 1993).

#### **7.3.1.9 Películas de queratina**

Las proteínas de la queratina han sido utilizadas por sus propiedades de encapsulación para compuestos como albúmina, proteína de soja, y proteínas de mioglobina (YAMAUCHI y KHODA et al., 1997). Varios materiales hidrófobos incluyendo glicéridos y colorantes han sido encapsulados con rendimientos mayores de 95% dentro de microcápsulas de queratina. (SUSLICK y GRINSTAFF et al., 1990)

### 7.3.2 Películas y recubrimientos a base de lípidos, ceras y resinas

Una muy amplia gama de compuestos podría ser utilizada en la formulación de las películas comestibles a base de lípidos. En la industria alimentaria, estos se utilizan para mejorar la apariencia de la superficie (color y brillo) y reducir la pegajosidad superficial. Pocos estudios han investigado los efectos de la aplicación de lacas y barnices de origen natural a los alimentos. Sin embargo, muchos proveedores de aditivos alimentarios han propuesto usarlos como agentes de recubrimiento (MORILLON et al., 2002).

### 7.3.3 Películas y recubrimientos a base de polisacáridos

Debido al gran número de aplicaciones, las películas y recubrimientos a base de polisacáridos son considerados como los más versátiles. Las películas de polisacáridos y revestimientos se pueden usar para preservar la calidad de algunos productos alimentarios. La carne alta en grasa y productos de pescado, tales como salchichas, carne seca, y filetes, se pueden proteger de la oxidación de lípidos mediante recubrimiento con capas de polisacáridos adecuados. Las propiedades de oxígeno y barrera contra la humedad de estos recubrimientos pueden proteger frutas y hortalizas frescas de la deshidratación y, en algunos casos, incluso retardar su ritmo respiratorio. Los recubrimientos de polisacáridos también pueden ser utilizados para reducir la pérdida de colores y sabores de los alimentos y sabores. Las aplicaciones de los recubrimientos de polisacáridos y sus funciones en los alimentos se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Aplicaciones de revestimientos de polisacáridos sobre alimentos. Fuente: Autor

| <b>Alimentos</b>                                                                                            | <b>Recubrimiento</b>                                                                                            | <b>Funciones</b>                                                                                                                                                                          | <b>Referencias</b>                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frutas frescas cortadas: manzana, pera, fresa, papaya, mango, pitaya                                        | Carrageno, alginato, goma de gelano, puré de manzana + pectina, maltodextrina, derivados de celulosa, quitosano | Antioxidante, antimicrobiano, portador nutracéutico; barrera contra gases y humedad, protección antifúngica; color, sabor, mejorador de textura                                           | BALDWIN et al 1996; BRANCOLI y BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2000; CHIEN et al., 2007; DEL-VALLE et al., 2005; LEE et al, 2003.; OLIVAS et al., 2003.; ROJAS-GRAU et al., 2007., ;TAPIA et al., 2007                                                                             |
| Frutas y verduras enteras: manzana, uva, cereza, ciruela, fresa, zanahoria, mango, plátano, kiwi, calabacín | Derivados de celulosa, el gel de aloe vera, quitosano, goma xantana.                                            | Barrera contra gases, lípidos y humedad, protección antifúngica; color, sabor, mejora la textura; retención de compuestos funcionales; portador de compuestos antimicrobianos y funcional | BALDWIN et al., 1999; CHIEN et al., 2006; CONFORTI Y TOTTY et al., 2007; DIAB et al., 2001; HAN et al., 2004; KAYNAS y OZELKOK et al., 1999; MARTÍNEZ-ROMERO et al., 2006; MEI et al., 2002; SERRANO et al., 2006; VALVERDE et al., 2005; YAMAN y BAYOINDIRLI et al., 2002 |
| Carnes, aves, pescados y mariscos                                                                           | Carrageno, alginato, derivados de celulosa, quitosano.                                                          | Barrera al oxígeno, lípidos y humedad; mejora la textura; antioxidante y prevención de crecimiento bacteriano                                                                             | HARGENS-MADSEN et al., 1995., :HOLOWNIA et al., 2000: JEON et al., 2002.; OUATTARA et al., 2000; . OUSSALAH et al., 2006;                                                                                                                                                  |
| Frutos secos y cereales                                                                                     | Almidón, dextrina, derivados de Celulosa.                                                                       | Adhesivo de condimentos, barrera contra el oxígeno y la humedad                                                                                                                           | LAOHAKUNJIT y KERDCHOECHUEN et al., 2007; ROUDAUT et al., 2002                                                                                                                                                                                                             |

Las películas y recubrimientos a base de polisacáridos tienen el potencial de ser utilizado en una variedad de aplicaciones, para extender la vida útil de las frutas, verduras, carnes,

mariscos y productos de panadería previniendo la deshidratación y la rancidez oxidativa por la modificación de la atmósfera interna de los productos alimenticios metabólicamente activos. Por otra parte, las películas y recubrimientos comestibles son sistemas prometedores para la mejora de la calidad de los alimentos, la vida útil, la seguridad y la funcionalidad. Varios estudios han demostrado que la incorporación de compuestos activos tales como antimicrobianos, antioxidantes o nutraceuticos, en películas y recubrimientos comestibles puede mejorar la seguridad y la vida útil y puede ser utilizado para mantener una mejor calidad durante el almacenamiento. Sin embargo, cuando se añaden compuestos activos a polisacáridos películas y recubrimientos comestibles, las propiedades mecánicas pueden ser afectadas considerablemente. Los estudios en este tema son aún muy limitados, y se necesita más información con el fin de entender estos cambios.

### 7.3.3.1 Quitosano

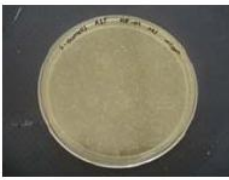
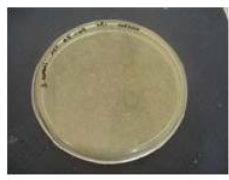
Los recubrimientos con quitosano actúan como una barrera mecánica para proteger al alimento de infecciones causadas por bacterias patógenas tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Actividad antimicrobiana del quitosano sobre microorganismos contaminantes de alimentos de origen animal. Fuente: VALENZUELA et al., 2012

| <b>BACTERIA</b>                 | <b>ALIMENTO</b>                                                                                                           | <b>REFERENCIA</b>                                                                                                                                                |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Alcaligenes sp.</i>          | Huevos                                                                                                                    | LELEU et al. (2011)                                                                                                                                              |
| <i>Bacillus cereus</i>          | Carne vacuno                                                                                                              | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994)                                                                                                                                      |
| <i>Bacillus subtilis</i>        | Carne de vacuno<br>Carne de cerdo                                                                                         | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994)<br>PARK et al. (1999)                                                                                                                |
| <b>Bacterias ácido lácticas</b> | Hamburguesa de bacalao<br>Salchicha                                                                                       | LÓPEZ-CABALLERO et al. (2005)<br>GEORGANTELIS et al. (2007)                                                                                                      |
| <i>Carnobacterium sp.</i>       | Huevos                                                                                                                    | LELEU et al. (2011)                                                                                                                                              |
| <i>Clostridium historyticum</i> | Salchicha                                                                                                                 | YOUN et al. (2001)                                                                                                                                               |
| <i>Clostridium perfringens</i>  | Salchicha                                                                                                                 | YOUN et al. (2001)                                                                                                                                               |
| <b>Coliformes</b>               | Carne de vacuno<br>Queso mozzarella                                                                                       | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994)                                                                                                                                      |
| <i>Enterobacteriaceae</i>       | Carne de pollo                                                                                                            | PETROU et al. (2012)                                                                                                                                             |
| <i>Escherichia coli</i>         | Carne de vacuno<br>Huevos                                                                                                 | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994)<br>LELEU et al. (2011)                                                                                                               |
| <i>Lactobacillus curvatus</i>   | Carne de cerdo                                                                                                            | LEE et al. (2003)                                                                                                                                                |
| <i>Lactobacillus plantarum</i>  | Carne de vacuno<br>Carne de cerdo                                                                                         | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994)<br>LEE et al. (2003)                                                                                                                 |
| <i>Listeria innocua</i>         | Carne de cerdo<br>Filete de bacalao                                                                                       | LEE et al. (2003),<br>GÓMEZ-ESTACA et al. (2010)                                                                                                                 |
| <i>Listeria monocytogenes</i>   | Salchichas<br>Carne asada<br>Jamón<br>Sopa de pescado                                                                     | PARK et al. (1999)<br>BEVERLYA et al. (2008)<br>FERNANDEZ-SAIZ et al. (2010)<br>LELEU et al. (2011)                                                              |
| <i>Pseudomonas</i> spp.         | Carne de vacuno<br>Carne de cerdo<br>Hamburguesa de bacalao<br>Tocino y kababs de cordero<br>Salchichas                   | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994),<br>LEE et al. (2003)<br>LÓPEZ-CABALLERO et al. (2005)<br>RAO et al. (2005)<br>GEORGANTELIS et al. (2007)                            |
| <i>Salmonella Typhimurium</i>   | Carne de cerdo<br>Salchichas<br>Huevos                                                                                    | LEE et al. (2003)<br>PARK et al. (1999)<br>LELEU et al. (2011)                                                                                                   |
| <i>Staphylococcus aureus</i>    | Carne de vacuno<br>Salchichas<br>Tocino y kababs de cordero<br>Hamburguesa de bacalao<br>Ostras crudas<br>Sopa de pescado | DARMADJI y IZUMIMOTO (1994)<br>PARK et al. (1999)<br>RAO et al. (2005)<br>LÓPEZ-CABALLERO et al. (2005)<br>CHHABRA et al. (2006)<br>FERNANDEZ-SAIZ et al. (2010) |

### 7.3.3.4 Nisina / Nikon LQ\*/ Nisina - Nikon LQ\*

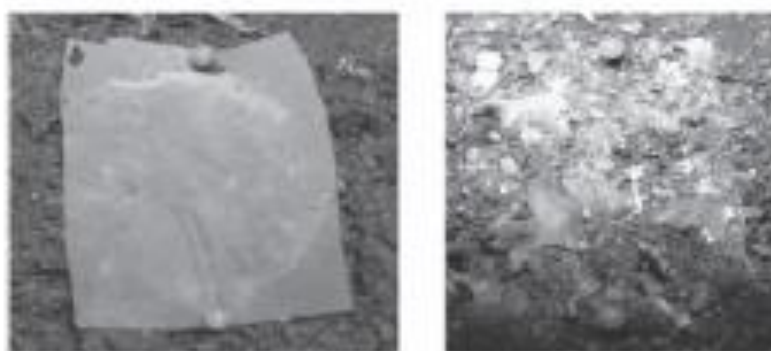
RODRIGUEZ OLVERA et al., (2008) determinaron que de los agentes antimicrobianos incorporados a las películas comestibles, el que tuvo mayor efecto de inhibición sobre *S. aureus* fue la nisina. No hubo evidencia de inhibición de Nikon LQ\* sobre *S. aureus*, y tampoco evidencia alguna de efecto sinérgico o aditivo de la mezcla nisina-Nicon LQ\*. La Figura 9 muestra los espectros de inhibición de los agentes antimicrobianos aplicados.

| Microorganismo   | Nisina                                                                            | Nicon LQ*                                                                          | Nisina-Nicon LQ*                                                                    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>M. luteus</i> |  |  |  |
| <i>S. aureus</i> |  |  |  |

**Figura 9.** Efecto de agente antimicrobiano sobre *M. luteus* y *S. aureus*. Fuente: Rodríguez Olivera et al., 2008.

### 7.3.3.5. Polihidroxicanoatos (PHA)

La principal ventaja de los polihidroxicanoatos es su biodegradabilidad y esto lo logran ya que los gránulos son hidrolizados por microorganismo que buscan en ellos fuentes de carbono y energía; lo hacen por medio de depolimerasas que son secretadas de las células y se adhieren a la superficie del polímero convirtiéndola en unidades de monómeros independientes. El tiempo que demora la degradación depende de la naturaleza propia del polímero así como también las condiciones ambientales a las que sean expuestos, se ha observado degradación de los PHAs en gran cantidad de ambientes incluyendo aerobios, anaerobios, salinos, marinos y otros (OJUMU, YU Y SOLOMON, 2004) (Figura 10).



**Figura 10.** Degradación completa de PHA en menos de 50 días bajo condiciones tropicales (SUDESH et al., 2000)

La principal aplicación de los PHA es que se pueden utilizar en empaques (envolturas de elementos de aseo y alimentos, en general envases de plásticos desechables o de larga duración) (LEE et al., 1999).

## VIII. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS BIOPELICULAS COMESTIBLES

### 8.1 Características estructurales y físico-químicas de las biopelículas

Aunque se requiere una baja solubilidad de las películas durante el almacenamiento, una alta solubilidad podría ser ventajosa durante la cocción de productos envueltos en películas. Por eso es necesario conocer las características de las películas tal como se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Características estructurales y físico-químicas de las biopelículas de acuerdo al tipo de recubrimiento

| BIOPELICULA                                                                                                  | ALIMENTO                   | PROPIEDADES                                                                                                                                                                                                                                     | FUNCION                                                                                           | FUENTE                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Almidón de plátano con aceite de canela                                                                      | Frutas y verduras          | Permeabilidad al vapor de agua: $5.07 \times 10^{-10}$ g /m <sup>2</sup> s*Pa<br>Tensión: 2,84 MPa<br>Solubilidad: 26,55%<br>Inhibición: <i>L. Innocua</i> y <i>S. Aureus</i>                                                                   | Reducción de permeabilidad al vapor de agua                                                       | ROMERO et al., 2011                                                    |
| Caseinato cálcico con aceite oleico                                                                          | Cárnicos                   | Tensión: 4,4 – 8,7 Mpa<br>Permeabilidad al vapor de agua: 1,5 –3,9 g*mm/Kpa*h*m <sup>2</sup>                                                                                                                                                    | Retención de la humedad debido a su propiedad de coagular.                                        | YANINI et al., 2007                                                    |
| Caseinato de sodio: glicerol(3.1:1) 23°C, 50% HR<br><br>Caseinato de sodio: ácido láctico (4:1) 25°C, 92% HR | Frutas y verduras          | Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 72<br>Fuerza de tensión (MPa): 7,0<br>Alargamiento de rotura (E):66%<br>Módulo de Young (Mpa): -<br><br>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 9,6 | Reducción de la tasa de respiración y la pérdida de humedad                                       | SCHOU et al., 2005<br><br>TOMASULA et al., 2003<br><br>HO et al., 1992 |
| Caseinato sódico con aceite oleico                                                                           | Cárnicos                   | Tensión: 1,4 – 2,4 M. pa<br>Permeabilidad al vapor de agua : 2, 7–6,2 g*mm/K.pa*h*m <sup>2</sup>                                                                                                                                                | Aumento de la elasticidad del recubrimiento.                                                      | YANINI et al., 2007                                                    |
| Cera de abeja                                                                                                | Frutos frescos y vegetales | Punto de fusión (° C): 61 – 65°C<br>Gravedad específica (g / ml):0,95-0,96<br>Índice de refracción: ---<br>Índice de yodo: Menor a 2<br>Espesor (mm): 0,14<br>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 0,0888          | Buena barrera frente a la humedad pero es altamente permeable frente al oxígeno y CO <sub>2</sub> | GUNSTONE et al., 1997                                                  |
| Cera de candelilla                                                                                           | Limon                      | Punto de fusión (° C): 66 – 71°C<br>Gravedad específica (g / ml):0,982-0,985<br>Índice de refracción:1,456<br>Índice de yodo: 19-44<br>Espesor (mm): 0,14<br>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 0,0120           | Buena barrera frente a la humedad pero es altamente permeable frente al oxígeno y CO <sub>2</sub> | GUNSTONE et al., 1997                                                  |
| Celulosa bacteriana                                                                                          | Industria Alimentaria      | Dimensiones de las cadenas: 70 – 117 nm<br>Modulo de Young (MPa): 4,9<br>Densidad específica: 0,99<br>Temperatura de degradación: 200°C                                                                                                         | Estabilizan los geles de pectina y almidón al calentar                                            | CARREÑO PINEDA et al., 2011                                            |



|                                                                                                                                                                                                                                |                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                         |                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Colágeno                                                                                                                                                                                                                       | Productos cárnicos                                             | Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 23,3                                                                                                                                                                                                                                                          | Retarda la oxidación lipídica                                                                           | LIEBERMAN y GUILBERT et al.,1973                                                                                   |
| Dextrana con glicerol                                                                                                                                                                                                          | Fresas                                                         | Sólidos solubles totales (%):7,4 -10,25<br>pH: 3,3 – 3,58<br>Acidez (Ác.Cítrico/g de muestra):0,96<br>Índice de madurez: 8,34<br>Pérdida de peso (%): 17,19                                                                                                                                                               | Extensión de la vida útil del producto .                                                                | MONCAYO et al., 2007                                                                                               |
| Dextrana con sorbitol                                                                                                                                                                                                          | Fresas                                                         | Sólidos solubles totales (%): 8-9<br>pH:3,4-3,66<br>Acidez (Ác. Cítrico/g de muestra): 0,69<br>Índice de madurez: 12,81<br>Pérdida de peso (%): 8,69                                                                                                                                                                      | Mantiene las características fisicoquímicas del producto                                                | MONCAYO et al., 2007                                                                                               |
| Flor de semilla de algodón<br>20°C, 0/100% RH                                                                                                                                                                                  | Verduras                                                       | Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 12,5                                                                                                                                                                                                                                                    | Constituye una barrera al oxígeno                                                                       | MARQUIÉ et al., 1996                                                                                               |
| Gluten de trigo :cera de abeja: glicerol (5:1.5:1) 40°C, 45% EtOH, pH 4 y 100% HR<br><br>Gluten de trigo : glicerol (4.3 :1) 50°C, 32% EtOH, pH 4 60% HR<br><br>Gluten de trigo : glicerol (2.4:1) 100°C, 52% EtOH, 50/100% HR | Quesos y productos cárnicos<br><br>Quesos y productos cárnicos | Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 3,0<br><br>Fuerza de tensión (MPa): 1,7<br>Alargamiento de rotura (E): 501%<br>Módulo de Young (Mpa): 13<br><br>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 108<br>Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 59 | Reducción de la pérdida de humedad y la oxidación de los lípidos<br><br>Reducción de la pérdida de peso | GONTARD et al., 1994<br><br>MICARD et al., (2000)<br><br>AYDT et al.,1991<br><br>PEREZ-GAGO y KROCHTA et al., 2001 |
| Monoglicéridos acetilados                                                                                                                                                                                                      | Frutas y hortalizas frescas.                                   | Punto de fusión (° C): 32 – 43°C<br>Gravedad específica (g / ml):0,96 -1,00<br>Índice de refracción: 1,447---1,442<br>Índice de yodo: 1 - 14<br>Espesor (mm): 1,31-2,31<br>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 1,91-12,8                                                                    | Disminución de la pérdida de humedad                                                                    | GUNSTONE et al., 1997                                                                                              |
| Nisina                                                                                                                                                                                                                         | Cárnicos                                                       | 3 g de nisina / Kg de película comestible                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Inhibe el crecimiento de <i>S. aureus</i> y <i>M. luteus</i>                                            | RODRÍGUEZ OLVERA et al., 2008                                                                                      |
| Parafina                                                                                                                                                                                                                       | Frutas y verduras                                              | Punto de fusión (° C): 50 – 51°C<br>Gravedad específica (g / ml):0,88-0,915<br>Índice de refracción:1,410-1,450<br>Índice de yodo: 0<br>Espesor (mm): 0,66                                                                                                                                                                | Baja permeabilidad a la humedad en el alimento                                                          | GUNSTONE et al., 1997                                                                                              |
| Polihidroxialcanoatos (PHA)                                                                                                                                                                                                    | Empaques en alimentos                                          | Cristalinidad (%): 20 - 80<br>Punto de fusión (°C): 30 - 180<br>Densidad (g/cm3): 1,05-1,25<br>Fuerza de tensión (MPa): 20 -40<br>Temperatura de transición vítrea (°C): -150 a -4<br>Elongación para quiebre (%): 6 - 1000<br>Biodegradabilidad: Buena<br>Resistencia a solventes: Pobre                                 | Aditivos de alimentos saludables<br><br>Industria microbiológica<br><br>Purificación de proteínas       | AKARAONYE et al., 2010<br><br>CHEN et al., 2013                                                                    |

|                                                                                                                                                                                           |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                           |                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Proteína aislada de soya: Glicerol (1:1) 95°C pH 6</p> <p>Proteína aislada de soya: Glicerol (1.7:1) 60°C pH 6</p>                                                                     | <p>Productos cárnicos y frutas</p>                                                      | <p>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 91,2<br/>Fuerza de tensión (MPa): 3,7<br/>Alargamiento de rotura (E): 124,2%<br/>Módulo de Young (Mpa): -</p> <p>Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 4,5</p>   | <p>Reducción a la oxidación de lípidos y retención de la humedad</p> <p>Inhibición de Listeria Monocytogenes</p>                          | <p>GENNADIOS et al., 1998</p> <p>BRANDENBURG et al. (1993)</p>                     |
| <p>Proteína de suero aislada: cera de abeja: glicerol (15:24:1) 90°C, 30 min 98% HR</p> <p>Proteína de suero aislada: sorbitol (2.3:1) 90°C, 30 min 50% HR</p>                            | <p>Manzanas, papas y cacahuates</p> <p>Sachichas</p>                                    | <p>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 7,7</p> <p>Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 4,3<br/>Fuerza de tensión (MPa): 13,9<br/>Alargamiento de rotura (E): 30,8%<br/>Módulo de Young (Mpa): 475</p>  | <p>Reducción de la rancidez y la mejora de brillo.</p> <p>Control del crecimiento de Listeria Monocytogenes</p>                           | <p>SHELLHAMMER AND KROCHTA et al., 1997</p> <p>MCHUGH AND KROCHTA et al., 1994</p> |
| <p>Proteína miofibrilar; Glicerol (3:1) pH 3 25°C, 100% RH</p>                                                                                                                            | <p>Pescados</p>                                                                         | <p>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 6,1</p> <p>Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 1,9</p>                                                                                                         | <p>Aumento de la resistencia mecánica y barrera frente al oxígeno y al vapor de agua.</p>                                                 | <p>CUQ et al., 1995</p> <p>GONTARD et al., 1996</p>                                |
| <p>Proteínas de las películas de la clara de huevo: 400PEG (2.5:1) 45°C, 20 min, pH 11</p> <p>Proteínas de las películas de la clara de huevo: Glicerol (2.9:1) 80°C, 20 min, pH 10,5</p> | <p>Mezclas de cereales / pasas y en el interior de los productos cárnicos</p>           | <p>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 199,2</p> <p>Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 70</p>                                                                                                        | <p>Aumento de las propiedades mecánicas</p>                                                                                               | <p>HANDA et al., 1999</p> <p>LIM et al., 1998</p>                                  |
| <p>Quitosano</p>                                                                                                                                                                          | <p>Huevos, derivados cárnicos y pescados</p>                                            | <p>Humedad: 21%<br/>pH: 3.2<br/>espesor: 0.095 mm<br/>densidad: 1032 kg/m<sup>3</sup></p>                                                                                                                                                               | <p>Inhibe el crecimiento de bacterias</p>                                                                                                 | <p>VALENZUELA et al., 2012</p>                                                     |
| <p>Quitosano y proteína de suero</p>                                                                                                                                                      | <p>Bananos</p>                                                                          | <p>pH: 4,19 ± 0,11<br/>Concentración de proteína: 4,0%<br/>Ganancia de humedad (20 días): 2,0%<br/>Acidez (mg/100g): 0,2%<br/>Sólidos solubles : 11° Brix<br/>Fuerza de cizalla (Pa): 30<br/>Índice de comportamiento de fluido: 0,70</p>               | <p>Aumentar la vida útil del alimento.</p> <p>Tienen baja permeabilidad constituyendo una barrera al vapor de agua y al O<sub>2</sub></p> | <p>SEVILLA et al., 2013</p>                                                        |
| <p>Zeina sin plastificar 80% EtOH 30°C, 0/100% HR</p> <p>Zeina con glicerol (3.9:1) 80% Etanol 38°C, 0%HR</p>                                                                             | <p>Manzanas, mango, y huevos con cáscara nueces, caramelos, productos de confitería</p> | <p>Permeabilidad al vapor de agua (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 14,7<br/>Fuerza de tensión (MPa): 10,9<br/>Alargamiento de rotura (E): 3,4%<br/>Módulo de Young (Mpa): 551</p> <p>Permeabilidad al oxígeno (g *mm / m<sup>2</sup>*d**kPa) : 67,4</p> | <p>Tienen baja permeabilidad constituyendo una barrera al vapor de agua y al O<sub>2</sub></p>                                            | <p>PARRIS y COFFIN et al., 1997</p> <p>GENNADIOS et al., 1993</p>                  |

## 8.2 Permeabilidad al vapor de agua (PVA), O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas

**Tabla 4.** La permeabilidad al vapor de agua, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas (Fuente: autor)

| <b>Película</b>               | <b>PV A(10<sup>-12</sup>*g*m<sup>-1</sup>*s<sup>-1</sup>*Pa<sup>-1</sup>)</b> |               | <b>Permeabilidad al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (10<sup>-10</sup>*L*m<sup>-1</sup>*d<sup>-1</sup>*Pa<sup>-1</sup>)</b> |                       |              |                                    |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------------|
| <b>Lípidos</b>                | <b>PVA</b>                                                                    | <b>T (°C)</b> | <b>O<sub>2</sub></b>                                                                                                      | <b>CO<sub>2</sub></b> | <b>T(°C)</b> | <b>Referencia</b>                  |
| Cera de abeja                 | 0,58                                                                          | 25            | 1,06                                                                                                                      | -                     | 25           | HAGENMAIER y BAKER, 1997           |
| Carnauba                      | 0,33-0,61                                                                     | 25            | 0,19                                                                                                                      | 2,62-16,89            | 25           | GUIBERT et al., 2000               |
| Polipropileno                 | 0,65                                                                          |               | 0,05                                                                                                                      |                       |              | PARK et al., 1999                  |
| <b>Polisacáridos</b>          |                                                                               |               |                                                                                                                           |                       |              |                                    |
| Metilcelulosa                 | 76-92                                                                         | 25            | 2,17-12,96                                                                                                                | 69-743                | 30           | GARCIA et al., 2004                |
| Hidroxipropilmetilcelulosa    | 105                                                                           | 25            | 0,12-1,16                                                                                                                 |                       | 25           | HAGENMAIER y SAW et al., 1990      |
| Quitano                       | 490                                                                           | 25            | 0,0014                                                                                                                    |                       | 25           | GARCIA et al., 2000                |
| Sucrosa                       | 0,42                                                                          |               | 2,1                                                                                                                       |                       |              | PARK et al., 1999                  |
| Xantano goma de baja densidad | 0,97                                                                          | 38            | 7,43                                                                                                                      | 21,70                 | 25           | FARBER et al., 2003                |
| <b>Proteínas</b>              |                                                                               |               |                                                                                                                           |                       |              |                                    |
| Gluten                        | 43-616                                                                        | 23            | 0,2-28,6                                                                                                                  | 2,1-811               | 25           | GONTARD et al., 1992               |
| Soya                          | 3540                                                                          | 25            | 0,775                                                                                                                     | 50                    | 25           | CHO y RHEE, 2004                   |
| Suero                         | 616-4170                                                                      | 25            | 0,012                                                                                                                     | 2,13                  | 25           | KROCHTA y DE-MULDER-JOHNSTON, 1997 |
| Caseinato de sodio            | 425                                                                           | 25            | 8,80                                                                                                                      | 52,78                 | 25           | DANGARAN et al., 2006              |
| Zeína                         | 89-132                                                                        | 21            | 1,79-3,81                                                                                                                 | 2,7                   | 20           | BAI et al., 2003                   |

## 8.3 Áreas que abarcan los recubrimientos comestibles

**Tabla 6.** Las áreas que abarcan los recubrimientos comestibles

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Seguridad química</b>        | Al igual que con todos los ingredientes y aditivos alimentarios, la seguridad es un requisito fundamental. Sin embargo, queda mucho por descubrir acerca de la seguridad de todos los aditivos alimentarios, incluidos los ingredientes de recubrimiento. |
| <b>Costo</b>                    | Ingredientes y método de aplicación.                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Propiedades de barrera</b>   | Los recubrimientos comestibles ideales forman una barrera aceptable para el intercambio de gases entre el alimento y el ambiente, o entre dos fases de un mismo alimento, ni demasiado restrictiva ni demasiado permeable.                                |
| <b>Calidad de los alimentos</b> | Los recubrimientos tienden a cambiar la apariencia, sabor y sensación en la boca, no son tóxicos.                                                                                                                                                         |
| <b>Valor nutricional</b>        | Algunos recubrimientos son tan gruesos que cambian el valor nutricional                                                                                                                                                                                   |
| <b>Medio ambiente</b>           | Los compuestos orgánicos volátiles (generalmente alcohol) a veces se liberan cuando los recubrimientos comestibles se secan.                                                                                                                              |

## 8.4 Beneficios de los recubrimientos comestibles

**Tabla 7.** Beneficios de los recubrimientos comestibles

| Beneficio                                     | Alimentos a ser recubiertos                               | Componentes principales del recubrimiento                               |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Inhibe la transferencia de humedad y oxígeno  | Pasas<br>Pollo congelado<br>Filetes de pescado<br>Huevos  | Proteína de suero<br>Alginato<br>Quitosano<br>Proteína y aceite vegetal |
| Reduce la transferencia de humedad            | Pastel<br>Galletas con queso<br>Salchicha<br>Fruta fresca | Azúcar y mantequilla<br>Aceite vegetal<br>Colágeno<br>Cera de Carnauba  |
| Reduce el crecimiento de hongos               | Queso<br>Pescado ahumado<br>Productos horneados           | Agar<br>Proteína de suero<br>Carragenina con fungicidas                 |
| Reduce la absorción de grasa                  | Papas                                                     | Metilcelulosa                                                           |
| Mejora la apariencia                          | Dulces de chocolate                                       | Zeína                                                                   |
| Reduce la adhesión a la superficie de cocción | Aves de corral                                            | Celulosa y proteína                                                     |

**Tabla 8.** Permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno y propiedades mecánicas de las películas plásticas más usadas en los alimentos (Fuente: autor)

| PELICULA                                                         | PROPIEDADES                                                                                                                                                                                                                                    | REFERENCIA                                     |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Poliétileno de baja densidad (LDPE)<br>38°C, 90/0% RH            | Permeabilidad al vapor de agua<br>(g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 0,08<br>Fuerza de tensión (MPa): 17<br>Alargamiento de rotura (E): 500<br>Módulo de Young (Mpa): -<br>Permeabilidad al Oxígeno<br>(g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 1870 | SMITH et al .,1986<br><br>BRISTON et al .,1986 |
| Copolímero de etileno-alcohol de vinilo<br>(EVOH) 38°C, 90/0% RH | Permeabilidad al vapor de agua<br>(g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 0,25<br>Permeabilidad al Oxígeno<br>(g *mm / m <sup>2</sup> *d**kPa) : 12                                                                                                 | FOSTER et al .,1986                            |

## 8.5 Influencia de los compuestos volátiles en las propiedades mecánicas de las películas comestibles

**Tabla 9.** La influencia de la incorporación de compuestos volátiles en las propiedades mecánicas de las películas comestibles. Fuente (ATARÉS et al., 2010; SANCHEZ-GONZALES et al., 2009)

| Matriz de la película    | Compuestos volátiles     | Alargamiento (%) | Resistencia a la tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) |
|--------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Proteína aislada de soya | Aceite de canela 1%      | 7,5              | 14,1                            | 354                         |
|                          | Aceite de jengibre 1%    | 3                | 8                               | 340                         |
| Quitosano                | Esencia de bergamota 3%  | 1,7              | 22                              | 682                         |
|                          | Aceite de árbol de té 2% | 8                | 54                              | 653                         |
| Alginato                 | Aceite de ajo 0,4%       | 2,7              | 38,7                            | -                           |
| Alginato de sodio        | n- Hexanal 1%            | 1,5              | 28                              | 2247                        |
| Carragenina              | n- Hexanal 1%            | 1,6              | 15                              | 1259                        |
| HPMC                     | Aceite de árbol de té 2% | 0,11             | 42                              | 956                         |

## 8.6 Permeabilidad para compuestos de aroma de varias películas comestibles

**Tabla 10:** La permeabilidad (P) para compuestos de aroma de varias películas comestibles a 25 ° C (Fuente: autor)

| Composición de la película comestible                                          | Compuesto de aroma  | Permeabilidad ( $10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) | REFERENCIA                         |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Carragenano + glicerol                                                         | 2-hexanona          | 0.196                                                                        | FABRA, M.J., et al., 2008.         |
|                                                                                | 1-hexanol           | <0,0011                                                                      |                                    |
|                                                                                | Cis-3-hexenol       | <0,012                                                                       |                                    |
|                                                                                | n-hexanal           | 0,0189                                                                       |                                    |
|                                                                                | D-limoneno          | 0.0291                                                                       |                                    |
| Carragenina + glicerol + acetilados monoglicéridos + cera de abejas (emulsión) | Acetato de etilo    | 0.022                                                                        | HAMBLETON, A., et al., 2008.       |
|                                                                                | Butirato de etilo   | 0,33                                                                         |                                    |
|                                                                                | Hexanoato de etilo  | <0,014                                                                       |                                    |
|                                                                                | 2-hexanona          | 0.111                                                                        |                                    |
|                                                                                | 1-hexanol           | <0,0011                                                                      |                                    |
|                                                                                | Cis-3-hexenol       | <0,017                                                                       |                                    |
|                                                                                | n-hexanal           | <0.00005                                                                     |                                    |
| Carragenina + glicerol + ácido oleico + cera de abejas (emulsión)              | D-limoneno          | 0.0803                                                                       | KOBAYASHI et al., 1995.            |
|                                                                                | Acetato de etilo    | 0,83                                                                         |                                    |
|                                                                                | Butirato de etilo   | 0,75                                                                         |                                    |
|                                                                                | Hexanoato de etilo  | 194                                                                          |                                    |
|                                                                                | 2-hexanona          | <0.0011                                                                      |                                    |
| Alginato de sodio + glicerol                                                   | 1-hexanol           | 1,12                                                                         | MILLER, K.S., et al., 1997.        |
|                                                                                | Cis-3-hexenol       | <0,0012                                                                      |                                    |
|                                                                                | n-hexanal           | 0,0134                                                                       |                                    |
| Alginato + glicerol + acetilados monoglicéridos + cera de abejas (emulsión)    | D-limoneno          | 0.00034                                                                      | QUEZADA-GALLO, A., et al., 1999.   |
|                                                                                | Butirato de etilo   | 0,033                                                                        |                                    |
|                                                                                | Hexanoato de etilo  | 134,2                                                                        |                                    |
|                                                                                | 2-hexanona          | 0.094                                                                        |                                    |
|                                                                                | n-hexanal           | <0.00005                                                                     |                                    |
| Gluten de trigo + glicerol                                                     | D-limoneno          | 0.000053                                                                     | QUEZADA-GALLO, J.A., et al., 1999; |
|                                                                                | 1-octeno-3-ol       | 4,6                                                                          |                                    |
|                                                                                | 2-pentanona         | 0,12                                                                         |                                    |
|                                                                                | 2-Heptanona         | 0,50                                                                         |                                    |
|                                                                                | 2-octanona          | <0,005                                                                       |                                    |
|                                                                                | Acetato de etilo    | 0.059                                                                        |                                    |
|                                                                                | Butirato de etilo   | 0,670                                                                        |                                    |
|                                                                                | Acetato isobutirato | 0.04                                                                         |                                    |
| Caseinato de sodio + glicerol                                                  | Hexanoato de etilo  | <0,005                                                                       | DEBEAUFORT, F. et al., 1994        |
|                                                                                | D-limoneno          | 0.00004                                                                      |                                    |
|                                                                                | Etil hexanoato      | <0,0004                                                                      |                                    |
| Caseinato de sodio + glicerol + ácido oleico + cera de abejas (emulsión)       | Acetato de etilo    | 0.006                                                                        | MILLER, K.S., et al., 1998         |
|                                                                                | Butirato de etilo   | 0,19                                                                         |                                    |
|                                                                                | Etil hexanoato      | <0,0004                                                                      |                                    |
|                                                                                | 2-hexanona          | 18,7                                                                         |                                    |
|                                                                                | 1-hexanol           | 238,8                                                                        |                                    |
| Caseinato de sodio + glicerol + cera de abejas (emulsión)                      | Cis-3-hexenol       | 639,1                                                                        | HAMBLETON et al., 2009             |
|                                                                                | Acetato de etilo    | 0,0061                                                                       |                                    |
|                                                                                | Butirato de etilo   | 0,08                                                                         |                                    |
|                                                                                | Hexanoato de etilo  | <0.00045                                                                     |                                    |
|                                                                                | 2-hexanona          | <0.00003                                                                     |                                    |
| Proteína de suero + glicerol                                                   | 1-hexanol           | <0,005                                                                       | QUEZADA-GALLO, A., et al., 1999.   |
|                                                                                | Cis-3-hexenol       | <0,0004                                                                      |                                    |
|                                                                                | D-limoneno          | 0.0003                                                                       |                                    |
|                                                                                |                     |                                                                              | KOBAYASHI et al., 1995.            |

## **IX. DISCUSIÓN**

### **9.1 Definición, propósito y aplicaciones de las películas comestibles**

Un recubrimiento comestible es una capa delgada hecha de materiales que puedan ser ingeridos por el consumidor y provee una barrera a la humedad, a gases y solutos. Ha crecido el interés de su uso ya que pueden ser ingeridos por el consumidor, su costo es bajo, reduce los desechos y la contaminación ambiental.

Los recubrimientos comestibles tienen diversas aplicaciones en los alimentos como: proteger contra humedad y oxígeno; retardar el crecimiento microbiano externo; controlar el balance de humedad en un alimento heterogéneo; evitar la penetración de salmueras; mejorar las propiedades mecánicas de un alimento para su posterior procesamiento; mejorar la integridad estructural; disminuir la migración de humedad; proteger las piezas de un alimento empacado en bolsa; mejorar la apariencia; impartir, preservar y mejorar color y sabor. Un recubrimiento con una barrera alta de gas puede causar fermentación anaeróbica y también desorden fisiológico. Para las frutas climatéricas se debe prestar mayor atención en el momento de aplicar el recubrimiento, pues una vez iniciada la maduración la tasa de respiración crece (BALDWIN Y HAGENMAIER et al., 2012).

Varios factores como el costo, la falta de nuevos materiales con funcionalidad deseable, la inversión para la instalación de nuevos equipos de producción de recubrimientos, los requisitos técnicos para la implementación de los procesos de producción, y las reglamentaciones limitan el desarrollo de nuevas aplicaciones. A pesar de estas limitaciones, los recubrimientos de polisacáridos satisfacen las demandas de los procesadores de alimentos, que tienen como objetivo encontrar los materiales que se pueden utilizar en una amplia gama de aplicaciones y agregar valor a sus productos, aumentar la vida útil y reducir el embalaje. Sin embargo, más investigación a escala industrial y en condiciones comerciales debe llevarse a cabo con el objetivo de obtener una información más realista para la comercialización efectiva de los productos recubiertos.

### **9.2 Polímeros usados en la elaboración de películas comestibles**

Los recubrimientos comestibles son elaborados con proteínas, polisacáridos y lípidos o mezcla de estos, se pueden emplear para el transporte de componentes activos, antimicrobianos o preservantes, con lo cual se logra proteger la calidad. Las películas comestibles pueden prolongar vida útil de muchos alimentos porque crean una barrera a gases principalmente. Los materiales utilizados no causan riesgos para la salud del consumidor ya que son inocuos.

#### **9.2.1 Polisacáridos**

Los polisacáridos funcionan como plastificantes y presentan buenas propiedades mecánicas. Las películas de polisacáridos tienen buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales seccionados. No son buenas barreras para la humedad. Se han elaborado películas a partir de celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, gomas y mezclas. La pectina es un

polisacárido estructural que está presente en la mayoría de las plantas, las películas de pectina son usadas para favorecer la apariencia más que evitar la transferencia de humedad. Las películas de celulosa retardan la rancidez oxidativa y la absorción de humedad. Las películas de almidón son estables, transparentes, flexibles, generalmente permeables al gas y sensibles a la humedad. La desventaja al utilizar este tipo de películas es que las propiedades de barrera a la humedad son muy bajas debido a la naturaleza hidrofílica de las mismas.

### 9.2.2 Proteínas

Las proteínas presentan barreras más débiles que los polisacáridos al vapor de agua, pero por otro lado desarrollan muy buenas propiedades de barrera al oxígeno y propiedades mecánicas que son muy favorables para recubrir alimentos. Estos recubrimientos son similares a los de carbohidratos debido a su naturaleza hidrofílica; aunque no son efectivos en la reducción de pérdida de agua (BALDWIN y HAGENMAIER et al., 2012). Las proteínas son hidrofílicas, e incluyen zeína de maíz, clara de huevo, suero de leche, y la caseína (KROCHTA et al., 2002).

Las películas de proteínas poseen menor resistencia al vapor de agua que el resto de los hidrocoloides solubles en agua. Son susceptibles al cambio de pH, pueden proporcionar un valor nutricional agregado al producto, son buenas formadoras de películas y se adhieren a superficies hidrofílicas. Las fuentes más comunes son caseína, zeína, soya, albúmina de huevo, lacto albúmina, suero de leche, gluten de trigo y colágeno. Las películas de zeína previenen la rancidez ya que actúan como barreras a la humedad, restringen el transporte de oxígeno y sirven como vehículos para antioxidantes. Las películas de albúmina y las de soya, reducen la pérdida de humedad. Las propiedades mecánicas de las proteínas también son inferiores a las de películas sintéticas pero son suficientes para la mayoría de aplicaciones. Se deben hacer más investigaciones para mejorar las propiedades mecánicas y reducir la permeabilidad al vapor de agua. Esto podría lograrse adicionando antimicrobianos, y en menor medida, otros aditivos alimentarios, a las películas de proteína. Las aplicaciones de recubrimiento de proteínas investigados demuestran el potencial de las proteínas en la ampliación de la vida útil de frutas y verduras, frutos secos y nueces, productos cárnicos y de panadería y productos de confitería.

### 9.2.3 Lípidos

Por último, los lípidos (ceras, surfactantes) son de gran ayuda para proteger algunos alimentos. Las películas de lípidos actúan como barreras para el vapor de agua, o como agentes de recubrimiento para darle brillo a productos de confitería o frutas. Las ceras son comúnmente usadas como recubrimientos de frutas y vegetales para retardar la respiración y la pérdida de humedad. Las películas de cera son, la mayoría de las veces, más resistentes al paso de la humedad que otros componentes. Los lípidos y las ceras tienden a ser más permeables a los gases pero presentan mejor barrera al vapor de agua. Los lípidos más empleados son cera de carnauba, de candelilla, de salvado de arroz; de abejas; a base de petróleo tales como los aceites de parafina y minerales; aceites vegetales (maíz, soja, y palma de la mano); acetoglicéridos, y ácido oleico (BALDWIN et al., 1997).

## 9.3 Propiedades de las películas comestibles

### 9.3.1 Permeabilidad

Las películas comestibles permiten el control de la transferencia de masa en el alimento, esta depende de un parámetro extrínseco, el diferencial de actividad de agua, y en dos parámetros intrínsecos, coeficiente de solubilidad (S), que representa la afinidad de los productos para el agua y el coeficiente de difusividad (D), que se ocupa de la movilidad del agua (cinética) en el sistema.

La permeabilidad se expresa generalmente como el producto de la difusividad por la solubilidad. Los medios principales para reducir el flujo de masa descansan en el control de estos dos parámetros.

La composición y estructura de las películas comestibles afectan el mecanismo de transferencia de agua y el oxígeno principalmente y por lo tanto su rendimiento de barrera, tanto como las propiedades fisicoquímicas de la sustancia que se mueve a través de la barrera (por ejemplo, concentración o afinidad de humedad).

Los productos frescos a menudo se almacenan en cámaras, recipientes o envases que proporcionan una alta humedad relativa para reducir la pérdida de agua. Para complicar las cosas, la humedad relativa del entorno de almacenamiento también tiende a alterar la permeabilidad del recubrimiento a los gases, por lo general haciendo recubrimientos hidrófilos más permeables a los gases (HAGENMAIER y SHAW, 1992).

Otro parámetro importante para medir, como se ha discutido, es la permeabilidad a los gases. Esta se puede calcular mediante el uso de la primera ley de Fick de la difusión y la ley de Henry de solubilidad para determinar la permeabilidad de estado estacionario de un permeado a través de una barrera no porosa (suponiendo que no hay imperfecciones).

El término permeabilidad se utiliza a menudo cuando la película es heterogénea y el espesor no es conocido. La permeabilidad a los gases se puede medir mediante el establecimiento de un gradiente de concentración manteniéndola la misma presión en ambos lados de la película. Estos métodos se utilizan a menudo para medir la permeabilidad al oxígeno u otros gases. La permeabilidad al vapor de agua se mide normalmente usando un gradiente de humedad relativa de 100% a 0%. Todo esto se puede hacer a diversas temperaturas (DONHOWE y FENNEMA, 1994).

La permeabilidad es el mecanismo por el cual un gas migra a través de una barrera continua, por ejemplo, la piel de un globo, una burbuja, o una bolsa de plástico sellada. Este proceso consiste en disolver el gas en un lado de la barrera, que difunde a través de la barrera por el movimiento al azar, y escapar por el otro lado de la barrera. La fuerza impulsora es la diferencia en la presión parcial del gas en las dos superficies de la barrera.

Las ecuaciones para este modelo son bien conocidas y se utilizan regularmente para describir y predecir las propiedades de barrera (CRANK et al., 1964).

La efusividad ( $E$ ) que tiene como unidades  $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ , es el flujo de difusión de las moléculas de gas a través de pequeños agujeros en una barrera. Las ecuaciones (1) y (2)



permiten calcular  $(E)$  sobre la base de la teoría cinética de los gases para el caso en el que el flujo de gas no es turbulento ya que las moléculas del gas pasan sin obstáculos a través de la barrera, según la ecuación (1). (GLASSTONE et al., 1946).

$$(E) = \sqrt{\frac{p(\rho)}{2\pi}} \quad (1)$$

Donde  $p$  es la presión parcial del gas de difusión ( $P_a$ ), y la densidad  $\rho$  es la contribución de ese gas a densidad total  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ .

La transferencia de masa a través de revestimientos de alimentos ocurre cuando cambia la presión interna del gas (por ejemplo, cambio de temperatura de un producto alimenticio rígido, haciendo que el gas interior se expanda o contraiga). La Ec. (02) predice la tasa de flujo ( $F$ ) que pasa a través de una barrera de espesor uniforme ( $x$ ), cuando la constante de difusión ( $D$ ) es uniforme a lo largo de una barrera que separa dos concentraciones diferentes de la difusión de gas ( $C_1$  y  $C_2$ ).

$$F = D ((C_1 - C_2)/x) \quad (2)$$

Las unidades del SI son  $kg/m^2s$  para  $F$ ,  $m^2/s$  para  $D$ ,  $kg/m^3$  para  $C_1$  y  $C_2$ , y  $m$  para el espesor  $x$ . La ecuación (2) no se utiliza fácilmente porque las concentraciones de gas dentro de las dos superficies de la barrera no son fácilmente mensurables. Sin embargo, las presiones de gas en el aire en los dos lados de la barrera son medidas con mucha más facilidad, y de acuerdo con la ley de Henry son proporcionales a  $C$ , es decir:

$$C_i = (S)(p_i) \quad (3)$$

donde  $S$  es la solubilidad del gas en la barrera, y  $p_i$  es la presión parcial del gas en la atmósfera en contacto con la barrera. Combinando las Ecuaciones (2) y (3) da

$$F = (D)(S) \left( \frac{P_1 - P_2}{x} \right) = \frac{P(P_1 - P_2)}{x} \quad (4)$$

Donde permeabilidad ( $P$ ) es el parámetro más útil de barreras de espesor desconocido, las unidades del SI de ( $P$ ) son  $s/m$ .

De la ecuación (4), se obtiene que la caída en la presión parcial de gas a través de cada capa de película es

$$(p_1 - p_2) = \frac{F}{P} \quad (5)$$

Cuando las películas son en capas, el flujo a través de cada capa es el mismo, la caída de presión total a través de la película de un material compuesto es la suma de la caída de presión a través de la película en capas, por lo tanto:

$$\frac{F}{P_{capas}} = (F) \left( \frac{1}{P_a} + \frac{1}{P_b} + \frac{1}{P_c} \right) \quad (6)$$

donde  $P_{capas}$  es la permeabilidad del recubrimiento en capas,  $P_a$  es la permeabilidad de la capa A,  $P_b$  es la permeabilidad de la capa B, y así sucesivamente. El recíproco de la permeancia a veces se llama la resistencia (R), que ayuda a quienes están familiarizados con la ley de Ohm para hacer paralelismos entre la corriente eléctrica que fluye a través de resistencias en serie y de gas que permean a través de las barreras de capas.

En la aplicación de la Ecuación (7) para recubrimientos de frutas frescas, las dos capas serían cáscara no recubierta y la película de recubrimiento (HAGENMAIER y SHAW, 1992). Por lo tanto,

$$R_{\text{recubrimiento de la fruta}} = R_{\text{recubrimiento}} + R_{\text{fruta}} \quad (7)$$

En general, los instrumentos hechos para medir la permeabilidad sostienen la película en una celda dividida en dos cámaras por la película de ensayo. Un gas de prueba puro o diluido (generalmente vapor de agua u oxígeno) se hace circular a través de la primera cámara. Un gas portador inerte (generalmente nitrógeno) se hace circular a través de la segunda cámara. La concentración del gas de ensayo en la segunda cámara se mide en diferentes momentos. La prueba se completa cuando la concentración del gas de prueba ya no aumenta con el tiempo. Los instrumentos miden permeancia. La permeabilidad se determina multiplicando permeancia por el espesor de la barrera. Es importante controlar la humedad relativa en ambos lados de la barrera por tres razones. En primer lugar, para la medición de la permeabilidad al vapor de agua, la diferencia en la humedad relativa es la fuerza motriz y, por tanto, debe ser conocida. En segundo lugar, algunos de los métodos analíticos de gas se ven afectados negativamente por la alta humedad relativa de la corriente de gas. En tercer lugar, y lo más importante, la permeabilidad de la mayoría de las barreras, en particular los revestimientos de alimentos y películas, es altamente dependiente de la humedad relativa. (COMYN, 1985).

El espesor de la película puede modificar sus propiedades tales como el rendimiento de la barrera. De acuerdo con la ecuación (8), la velocidad de transferencia de vapor de agua corresponde a la cantidad de vapor de agua ( $\Delta m$ ) transferido a través de un área de la película (A), durante un tiempo definido ( $\Delta t$ ).

$$WVTR = \frac{\Delta m}{A \Delta t} \left( \frac{g}{m^2 s} \right) \quad (8)$$

De acuerdo a la ecuación (9), un aumento en la permeabilidad indica una mayor afinidad por el agua, lo que podría ser debido a la presencia de compuestos hidrófilos en la formulación. Parece, pues, que la influencia del espesor de la película varía con la naturaleza de los componentes de la película. La fuerza impulsora para la transferencia de humedad es la presión de vapor o la diferencia de la actividad de agua entre los dos lados de la película. Cuanto mayor es el gradiente, mayor será la tasa de transferencia, si no hay interacción entre el agua y la película (PARK y CHINNAN, 1995)

$$P = WVTR \frac{\Delta x}{\Delta P} \left( \frac{g}{msPa} \right) \quad (9)$$

Los productos alimenticios pueden estar expuestos a una amplia gama de variaciones de temperatura durante el procesamiento, y a menudo se almacenan a temperaturas sub-ambiente. La temperatura afecta enormemente a todos los fenómenos termodinámicos y

cinéticos y, por lo tanto, la transferencia de humedad. Mientras no haya modificación de la estructura de película o recubrimiento debido a la temperatura, la permeabilidad, difusividad, y coeficientes de solubilidad varían de acuerdo con la ley de Arrhenius, como se describe en las ecuaciones (10), (11) y (12):

$$P = P_0(e^{-E_{a,P}/RT}) \quad (10)$$

$$D = D_0(e^{-E_{a,D}/RT}) \quad (11)$$

$$S = S_0(e^{-\Delta H_s/RT}) \quad (12)$$

En esta ecuación,  $E_{a,P}$  y  $E_{a,D}$  son las energías de activación aparentes de los fenómenos de penetración y difusión (KJ/mol);  $\Delta H_s$  es la entalpía de sorción (KJ/mol),  $P_0$ ,  $D_0$ , y  $S_0$  son los valores de referencia de la permeabilidad, difusividad y solubilidad, respectivamente,  $R$  es la constante de los gases ideales (8,31 KJ / mol\*K), y  $T$  es la temperatura (K).

De acuerdo con la transferencia, la cual es accionada principalmente por fenómenos cinéticos o termodinámicos, la permeabilidad aumenta o disminuye a medida que aumenta la temperatura. Esta observación indica que la transferencia de humedad, de gases y solutos depende principalmente de la difusión. (KESTER y FENNEMA, 1989) informaron de un aumento en la transferencia de la humedad cuando la temperatura disminuyó, lo que puede explicarse por una mayor absorción de humedad por el papel de filtro usado como un soporte mecánico. Para una gama más amplia de temperaturas, algunos autores han observado una disminución de la permeabilidad con el aumento de la temperatura.

Las temperaturas por debajo de 0 °C permiten una mejor conservación de los alimentos, sobre todo por la inhibición del crecimiento de mohos. El efecto de una temperatura por debajo de 0 °C en la transferencia de humedad ha sido apenas estudiado en el campo de las barreras comestibles. De hecho, los pocos trabajos publicados sobre la transferencia de humedad a temperaturas bajas tan sólo tienen en cuenta la cantidad de agua ganada o perdida por el alimento. Estos no tienen en cuenta los fenómenos de rendimiento de barrera o de permeación reales que ocurren dentro de las películas comestibles. (KESTER y FENNEMA, 1989). Se han desarrollado para la predicción de la vida útil varios modelos que se han adaptado a los alimentos recubiertos con películas o recubrimientos comestibles, estos modelos tienen en cuenta las características del producto alimenticio, medio circundante, y la capa de barrera, para ello es necesario conocer: (HONG et al., 1991).

- La permeabilidad de la película, o la tasa de transferencia de vapor de agua ( WVTR ) de los recubrimientos , así como el espesor del recubrimiento .
- Los contenidos iniciales y críticos de agua, la isoterma de sorción, y, finalmente, su densidad y difusividad de humedad del alimento
- La actividad de agua del compartimento húmedo y su difusividad.

Estos métodos consisten en la evaluación de la cantidad de agua transferida necesaria para inducir la degradación del producto, tales como la pérdida de nitidez en una galleta seca y la determinación del tiempo necesario para que esa cantidad de agua atraviese el recubrimiento (DEBEAUFORT et al., 2002). El modelo más simple utiliza la tasa de

transferencia de agua y el contenido crítico de agua de la parte seca del producto de acuerdo con la ecuación (11):

$$Tiempo = \frac{(M_c - M_i)(m)}{(WVTR)(A)} = \frac{(M_c - M_i)(m)(x)}{(P)(A)(\Delta P)} \quad (11)$$

En esta ecuación, WVTR es la velocidad de transferencia de agua ( $\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ); A es la superficie expuesta a la transferencia; x es el espesor del revestimiento (m), m es la masa de la materia seca del producto (g);  $M_i$  y  $M_c$  son los contenidos iniciales y críticos del agua, respectivamente, y  $\Delta p$  es la diferencia de presión parcial del vapor de agua a través de la barrera.

Sin embargo, este modelo asume que el diferencial de actividad de agua entre las dos caras de la capa se mantiene constante durante el almacenamiento, lo que nunca ocurre.

La permeabilidad al vapor de agua ( $\text{g} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{mmHg} \cdot \text{min}$ ) del polietileno a baja densidad es de  $6,95 \cdot 10^{-9}$  (a  $37^\circ\text{C}$ , 44,3 mmHg y 0,025mm de espesor), el gluten con cera de abeja ( $5,3 \text{ mg}/\text{cm}^2$ ) presenta una permeabilidad de  $3,33 \cdot 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{mmHg} \cdot \text{min}$  al vapor de agua (a  $25^\circ\text{C}$ , 20 mmHg y 0,12mm de espesor) por lo que cumple con la misma eficiencia la función del polietileno (GONTARD et al.,1993).

Respecto a la permeabilidad al  $\text{O}_2$  se recomienda elaborar recubrimientos comestibles con quitosano ya que tiene una baja permeabilidad al oxígeno y su producción es de bajo costo y de interés ecológico, ya que se obtiene de los caparazones de crustáceos, que constituyen la mayor fuente de contaminación en las zonas costeras.

La velocidad de transferencia no debe ser usada para comparar las propiedades de barrera de las películas de diferentes componentes o espesores, excepto en circunstancias donde el gradiente de presión y espesor de las películas sea desconocido. Se considera apropiado para describir la permeabilidad de películas cuando éstas son evaluadas al mismo gradiente de humedad relativa (GUILBERT et al., 1997).

### 9.3.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los RC dependen del tipo de material empleado en su elaboración y especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar puentes moleculares numerosos y estables entre cadenas poliméricas, los cuales impiden su separación. Es útil conocer las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción, la elongación, y la elasticidad, que pueden ser medidas por el estiramiento de una película a su punto de ruptura, por punción, o por medición de la deformación utilizando un texturómetro (PÉREZ-GAGO y KROCHTA, 2000).

Muchas proteínas de los alimentos: como la caseína, el gluten de trigo, de soja o de suero, y polisacáridos: tales como alginato, almidón, celulosa, almidón de yuca o pectina, se han formulado en películas comestibles o recubrimientos (Henrique et al., 2007).

En la formación del recubrimiento comestible, un polímero es aplicado a una superficie o matriz, en el cual, existen dos fuerzas que operan, una es entre las moléculas del polímero formadoras de la película (cohesión) y la otra, la de la película y el sustrato

(adhesión). Las fuerzas de cohesión afectan la densidad, compactación, porosidad, permeabilidad, flexibilidad y fragilidad de la película. La exposición al calor excesivo de las películas, afecta la cohesión, porque inmoviliza prematuramente las moléculas de polímero provocando defectos como perforaciones y fractura de la película. El grado de cohesión de los RC gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta.

Los materiales de empaque con antimicrobianos atraen la atención de la industria de los alimentos y la del empaque, debido en parte al aumento en la demanda del consumidor por productos libres de conservantes en frutas, vegetales y otros alimentos. Por ejemplo, las propiedades de absorción, cohesivas y emulsificantes de la celulosa bacteriana constituyen un futuro promisorio en aplicaciones en la industria alimentaria, el punto crítico para la explotación de este recurso estriba en incrementar los niveles de producción y abatir los costos.

### **9.3.3. Efecto de los recubrimientos sobre frutas y hortalizas frescas**

Los recubrimientos aplicados a las superficies de las frutas y verduras son comúnmente llamados ceras, si algún componente del mismo es en realidad una cera. La aplicación de recubrimientos en manzanas, cítricos, frutas, aguacates, tomates y pepinos y antes de su comercialización es una práctica habitual en muchos países.

El propósito de recubrir verduras y frutas es reducir la pérdida de agua, la senescencia y el envejecimiento, impartir brillo, y permitir mejor calidad y la comercialización del producto. Además, los recubrimientos crean una atmósfera modificada en el interior del producto y protege el producto de patógenos y contaminantes. Los revestimientos se vuelven más importantes para la fruta que se lava antes del almacenamiento y el transporte marítimo, ya que durante ese proceso, cepillos eliminan parcialmente la cera natural en la superficie de los productos, lo que agrava la pérdida de agua y aumenta el deterioro.

En la última década, los nuevos materiales naturales como el alginato empleado en manzanas y papayas, gellan (manzanas y papayas cortadas), pululano (fresa, manzana y kiwi), Aloe vera (uvas, cerezas), cera de abejas (manzanas y mandarinas), aceite de soya (manzanas y peras), maltodextrinas (manzana), goma xantan (zanahorias), caseína (manzanas y cerezas), proteína de soya (manzanas) y zeína (tomate), han demostrado potencial para ser nuevos recubrimientos para frutas frescas y recién cortadas. (FALCÃO - RODRIGUES et al., 2007; OLIVAS et al., 2007; ROJAS- GRAU et al., 2007; TAPIA et al., 2007; CHLEBOWSKA ŚMIGIEL et al., 2007; MARTÍNEZ- ROMERO et al., 2006; JAGANNATH et al., 2006).

#### **9.3.3.1 Protección de la frescura**

El control de pérdidas de agua era el objetivo original de la aplicación del revestimiento para la preservación de los productos frescos. Durante el almacenamiento, la pérdida de humedad de la cáscara se repone continuamente por el movimiento de la humedad de la pulpa. Si esta pérdida, debido a los efectos combinados de la respiración y la transpiración, continúa sin control, el fruto se encoge y se convierte en no comercializable. El lavado, que es una práctica estándar para empacadoras de hoy, elimina parte de los materiales de protección de la piel y por lo tanto aumenta la pérdida de agua en los cítricos (HAGENMAIER Y BAKER et al., 1993). La aplicación del revestimiento comestible se convierte en una necesidad para proteger la frescura de los productos durante el posterior almacenamiento, transporte y comercialización.

#### **9.3.3.2 Aumento de la firmeza**

La pérdida de firmeza en manzanas y tomates representa un importante deterioro de los frutos. Algunas frutas, como peras y mangos, necesitan una maduración apropiada antes de su consumo, sin embargo, una vez que se desencadena el proceso de maduración, la fruta tiene una vida útil muy corta (AMARANTE et al., 2001). Los recubrimientos comestibles desaceleran el ablandamiento y de este modo prolongan la vida útil de muchas frutas, como las manzanas (BAI et al., 2002), peras (AMARANTE et al., 2001), tomates (PARK et al., 1994), mangos (BALDWIN et al., 1999) y cerezas dulces (YAMAN y BAYOINDIRLI, 2002).

#### **9.3.3.3 Retención del color**

El color se considera que es uno de los factores externos más importantes de la calidad de las frutas y de verduras, ya que influye en gran medida a los consumidores. El color amarillo de frutas y verduras es a menudo el resultado de la desaparición de las clorofilas que permite que los pigmentos amarillos y carotenos hagan más visibles (SHEWFELT et al., 1993).

Un recubrimiento de éster de ácido graso de sacarosa fue eficaz en la retención de clorofila para mantener el color verde de los pimientos verdes (ÖZDEN y BAYINDIRLI, 2002).

Sin recubrimientos, las manzanas y las naranjas tienen menor brillo, sobre todo después del almacenamiento. Sin embargo, la aplicación del revestimiento inadecuado puede causar decoloración estética (BALDWIN et al., 1994).

#### **9.3.3.4 Aumento de la calidad nutricional**

Las frutas y verduras pierden algún valor nutricional durante el almacenamiento, incluso en condiciones óptimas. Un beneficio importante de un mayor consumo de frutas y verduras puede ser el aumento del consumo de vitaminas (vitamina C, vitamina A, vitamina B6, tiamina y niacina), minerales, fibra dietética y compuestos antioxidantes como los carotenoides, flavonoides y otros fenólicos (KEVERS et al., 2007).

En la mayoría de frutas y verduras, los niveles de minerales, compuestos fenólicos, y la capacidad antioxidante son generalmente estables durante el almacenamiento (KEVERS et al., 2007). Sin embargo, el contenido de ácido ascórbico y fibra dietética disminuyen constantemente durante el almacenamiento (DONG et al., 2008).

Un recubrimiento de éster de ácido graso de sacarosa fue eficaz en la retención de ácido ascórbico en pimientos verdes (ÖZDEN y BAYINDIRLI, 2002), cerezas (YAMAN y BAYOINDIRLI, 2002) y las manzanas (SÜMNÜ y BAYINDIRLI, 1995).

Un recubrimiento de metilcelulosa que contiene ácido ascórbico o ácido cítrico como antioxidante y acidulante redujo la pérdida de ácido ascórbico en los albaricoques y pimientos verdes (AYRANCI y TUNC, 2004).

### **9.3.5 Retención de sabor**

Los recubrimientos influyen en el sabor de dos maneras. Uno es mediante la acumulación de compuestos volátiles directamente en la fruta como resultado de la reducción de la permeabilidad de la piel ; la otra forma es alterando el metabolismo de los tejidos de frutas, al retardar la maduración y el deterioro para extender la vida de sabor, o mediante la reducción en exceso de O<sub>2</sub> interno y la elevación de CO<sub>2</sub> para causar la fermentación, la acumulación anormal de etanol y acetato de etilo , y el mal sabor (BALDWIN et al., 1994).

## **9.4 Aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles a los alimentos procesados**

Los recubrimientos comestibles se han aplicado con éxito en los alimentos procesados como carne, cereales, confitería, frutas secas, nueces, y frutas y verduras. Estos recubrimientos se utilizan para mejorar la calidad y la vida útil de los alimentos. Estas películas actúan como nuevos sistemas de envasado y controlan la liberación de compuestos activos tales como antioxidantes, saborizantes, y agentes antimicrobianos.

### **9.4.1 Películas y recubrimientos en carne**

El colágeno es un complejo fibroso de proteína animal que se encuentra en la piel, el tejido conectivo, y los tendones. Las tripas de colágeno natural de la carne de vacuno, carne de cerdo o de los intestinos de cordero para carne triturada son uno de los primeros usos de las películas de proteínas, y los materiales de envasado comestibles en general (BALDWIN EA y NISPEROS NO, 1995).

Las películas de colágeno extruidos son generalmente transparentes con una ligera opacidad y textura y se adhieren bien a productos alimenticios con alta humedad, tales como carne fresca. Estas películas se vuelven cada vez más flexible con el aumento de la hidratación. Además, las películas de colágeno son bastante insípidas e incluso parecen adquirir el sabor de la comida recubierta (CONCA et al., 2002).

Las películas de colágeno se utilizan comercialmente como envolturas para carnes deshuesadas. Además las películas de colágeno extruidas son tan eficaces como las bolsas de plástico en el mantenimiento de la calidad de la carne durante el almacenamiento congelado. Los recubrimientos de gelatina de colágeno y se han utilizado en las carnes y salchichas para reducir la permeabilidad al vapor de agua (GENNADIOS y HANNA, 1997).

La película de colágeno tiende a sostener los jugos de la carne durante la cocción, con lo que las muestras recubiertas son más sabrosas, tiernas y jugosas. No hay diferencia en la elasticidad entre muestras no revestidas y revestidas con colágeno de carne durante el almacenamiento. Estos y otros resultados de los estudios de almacenamiento han demostrado que las películas de colágeno mantienen la calidad de la carne a temperaturas de congelación, comparable a la de las bolsas de plástico (CONCA et al., 2002).

Las películas o recubrimientos de otros tipos de proteínas (zeína de maíz, gluten de trigo, proteína de soja y albúmina de huevo) que llevan antioxidantes han demostrado ser prometedores para la reducción de la tasa de oxidación de los lípidos en los productos cárnicos (HERALD et al., 1996; WU et al., 2000; ARMITAGE et al., 2002).

Las formulaciones de almidón y dextrina también se comercializan como revestimientos protectores, mantenedores de integridad, potenciadores de apariencia (KROCHTA et al., 2002). Las canales de carne y piezas de carne pueden ser protegidas por una película de alginato de calcio, lo que reduce la pérdida de agua y mejora la calidad bacteriológica (ONSØYEN et al., 2001).

El uso de recubrimientos comestibles como sustituto de las bolsas de plástico que se utilizan para empacar las carnes congeladas, es una posible solución al problema del almacenamiento de los desechos plásticos contaminados con alimentos.

A pesar de los beneficios, muy pocas películas comestibles se utilizan debido al rendimiento y las limitaciones funcionales en comparación con las películas de polímeros tradicionales. Inherentemente, los materiales de embalaje comestibles son en sí mismos susceptibles a la biodegradación en el tiempo, similar a los alimentos que están destinados a proteger.

La aceptación del consumidor es, en última instancia esencial para la comercialización de los materiales de envasado comestibles. Por lo tanto, es imperativo que la evaluación sensorial se integre en la investigación del recubrimiento comestible para detectar la introducción de cualquier efecto sensorial adversos por las películas y recubrimientos.

Las películas de proteínas y recubrimientos aplicados en los productos alimenticios que llevan enzimas proteolíticas, tales como productos cárnicos, pueden degradarse prematuramente, perdiendo así su utilidad. La gelatina es una buena barrera a los gases, pero es altamente hidrófilo, la reticulación de las membranas de gelatina reduce su solubilidad en agua (HOLOWNIA et al., 2000).

#### **9.4.2 Películas y recubrimientos en cereales**

El recubrimiento de cereales para el desayuno se hace comercialmente por diferentes métodos, mediante el recubrimiento de piezas de cereal con aceite, posteriormente hay un recubrimiento con un polvo edulcorante que contiene maltodextrina de alta conversión o el jarabe de maíz de baja conversión y un edulcorante de alta intensidad (GREEN y NOWAKOWSKI, 2005).

LEUSNER et al., (2009) patentó un método para la fortificación de fibra de cereales para el desayuno por recubrimiento con fibra para aumentar su contenido de fibra de aproximadamente 50 % (en peso) sin afectar a su sabor. (PETERSEN et al., 2008) utilizó



una solución probiótica para preparar cereales de desayuno enriquecidos con probióticos mediante un recubrimiento utilizando lípidos como un agente de encapsulación.

HOITINK et al., (2004) describieron un producto de cereales que cambia o pierde su color tras la adición de un líquido acuoso. El cambio de color fue pensado para que el cereal fuera mas atractivo para el desayuno tanto para niños como para adultos. El cereal puede ser preparado mediante la aplicación de diferentes recubrimientos en una base clasica de cereales extruidos, por lo que un revestimiento exterior proporciona un cierto color y es esencialmente lavado después de la adición de leche.

El arroz fortificado con vitaminas y minerales se ha recubierto con ácido esteárico y mezclas de resinas de zeína para evitar las pérdidas de vitaminas y minerales durante el lavado en agua fría (PADUA y WANG, 2002).

Las combinaciones de recubrimiento de proteína encapsulada, grasa, y carbohidratos no sólo impidieron el desmoronamiento y la pegajosidad, sino que también conserva la frescura, son utilizados para postres como brownies y pan de jengibre.

#### **9.4.3 Películas y recubrimientos en pasas y nueces**

Las pasas necesitan ser recubiertas con el fin de reducir la migración de humedad y dureza debido a las condiciones de baja actividad de agua dentro de los envases de cereales. Los recubrimientos mas usados en uvas pasas son con revestimientos a base de glicerol (GUZMÁN y HEGARTY, 2000). Los revestimientos a base de caseinato y a base de proteína de suero de leche - se han aplicado en las pasas y cacahuates para proporcionar una barrera al oxígeno y la transferencia de humedad para extender la vida útil de los productos, además reducen lefectivamente la oxidación de lípidos durante el almacenamiento de cacahuates asados secos y las nueces. Sin embargo, como cualquier material de polímero, los recubrimientos de proteína de suero permiten cierta penetración de oxígeno que puede llegar a producir alimentos rancios.

Los revestimientos de zeina se utilizan como barreras al oxígeno, a los lípidos y a la humedad para los frutos secos, caramelos, productos de confitería y otros alimentos (PADUA y WANG, 2002).

#### **9.4.4 Películas y revestimientos en confitería**

El Recubrimiento de superficies de confitería mejora el impacto de sabor o valor nutricional y protege las características del producto. La goma Shellac (laca) es un polímero natural obtenido del refino de la secreción de *Kerria lacca*, un insecto parásito encontrado en árboles en el sudeste de Asia, se ha utilizado en confitería y farmacéuticos de recubrimientos duros. Este recubrimiento sin olor y sin sabor aumenta la resistencia a la abrasión, que actúa como barrera contra la humedad y la grasa. La goma Shellac se utiliza sobre todo para el chocolate pero también se utiliza para el recubrimiento de una variedad de productos alimenticios tales como manzanas, peras, mandarinas, galletas, donas, glaseados, galletas, base de tinta comestible, semillas, y nueces. (PHAN et al., 2008).

Los revestimientos de Zeina se utilizan como barreras al oxígeno, a los lípidos y a la humedad para los caramelos y productos de confitería (PADUA Y WANG et al., 2002).

## 9.5 Aplicabilidad de las películas comestibles comerciales en productos alimenticios

Los recubrimientos comestibles se han aplicado en el mercado para una amplia gama de productos alimenticios incluidas las frutas y hortalizas frescas y procesadas y carne procesada; aves de corral; productos del mar; frutos secos; productos de panadería y confitería con algunos propósitos comunes y únicos.

**Frutas y verduras:** Los recubrimientos proporcionan una barrera parcial a la humedad y el intercambio de gases, mejoran la manipulación mecánica del producto ya que mantiene la integridad estructural, retiene los compuestos volátiles del sabor, y transporta otros ingredientes alimentarios funcionales (LIN y ZHAO, 2007). Las proteínas, polisacáridos, lípidos y resinas son los ingredientes más comunes de los recubrimientos de alimentos. Las características físicas y químicas de estos biopolímeros influyen en gran medida la funcionalidad de los recubrimientos resultantes.

La selección de materiales del recubrimiento se basa generalmente en su costo y la aceptación como ingredientes de alimentos, las propiedades de formación de película, solubilidad en agua (naturaleza hidrófila e hidrófoba), la facilidad de la formación del recubrimiento y las propiedades sensoriales. Los recubrimientos en frutas y verduras disminuyen la respiración, controlan la pérdida de humedad. (BALDWIN et al., 2007; LIN y ZHAO, 2007; OLIVAS y BARBOSA- CÁNOVAS, 2009).

**Alimentos procesados:** Los recubrimientos comestibles pueden ser aplicados a los alimentos procesados para la prevención de la pérdida de humedad, la transferencia de humedad entre los componentes de diferente actividad de agua en un sistema heterogéneo de alimentos, la formación de hielo en los alimentos congelados, la exposición al oxígeno, o difusión de CO<sub>2</sub> (BALDWIN et al., 2007; USTUNOL et al., 2009).

Algunos protegen la carne y sus productos derivados de la rancidez oxidativa y la absorción de grasa. Otros reducen la contracción del producto durante la cocción contribuyendo a mejorar la textura, o mejoran la apariencia de los productos finales.

Los revestimientos también funcionan como portadores para agentes antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes, colores, y aromatizantes. Con respecto a los alimentos congelados, los recubrimientos comestibles reducen las quemaduras por congelación mediante la limitación de la tasa de transferencia de vapor de agua de los alimentos congelados a la atmósfera circundante, y también reducen el goteo durante la descongelación y la cocción (DUAN et al., 2009).

**Confitería:** Muchos caramelos, incluidas las frutas confitadas, están recubiertos para preservar y proteger su estructura y contenido a la rigidez y la absorción de la humedad; para aumentar la palatabilidad; para impartir brillo al producto; y, en el caso del chocolate y otros productos de confitería que contienen lípidos, para evitar la pérdida de aceite. Los productos de confitería se revisten usualmente en una sartén, un plato que está accionado por motor para proporcionar acción giratoria. Los materiales de recubrimiento para productos de confitería por lo general incluyen el chocolate y el jarabe de azúcar.

## **9.6 Métodos de aplicación de revestimiento**

Hay muchas tecnologías que pueden utilizarse para hacer películas y recubrimientos comestibles. La elección de un proceso específico depende de la naturaleza de la película o recubrimiento constituyentes y en la forma prevista de la capa de barrera. Las películas comestibles se pueden obtener por extrusión, co-extrusión, difusión, fundición, revestimiento con rodillo, revestimiento con tambor, revestimiento en bandeja, o técnicas de laminación. Los recubrimientos comestibles, por otro lado, se aplican principalmente mediante pulverización, técnicas de recubrimiento de tambor, pulverización, fluidización, revestimiento en bandeja, o película descendente (GRANT y BURNS, 1994)

La aplicación de revestimiento consiste en aplicar un líquido o un ingrediente en polvo sobre un producto base. Las propiedades de la superficie juegan un papel clave en el éxito de la aplicación del revestimiento. La aplicación de recubrimientos en general requiere de un proceso de cuatro pasos:

1. La deposición del material de revestimiento (solución, suspensión, emulsión o polvo) en la superficie del producto a recubrir a través de pulverización, cepillado, difusión, o colada.
2. La adhesión de material de recubrimiento (solución, suspensión, emulsión o polvo) a la superficie del alimento.
3. La coalescencia (paso de formación de película) del recubrimiento en la superficie del alimento.
4. La estabilización de la capa de recubrimiento continua sobre su soporte o producto alimenticio a través de co-acervación por secado, refrigeración, calefacción, o la coagulación.

Existen varios métodos de aplicación de recubrimientos incluyendo inmersión, formación de espuma, pulverización, y se pueden aplicar para recubrimientos comerciales. La selección de un método apropiado depende de las características de los alimentos, los materiales de revestimiento, el efecto deseado del recubrimiento, y el costo.

### **9.6.1 Inmersión**

La inmersión ha sido de uso común para el recubrimiento de frutas, verduras y productos cárnicos. El producto se sumerge directamente en las formulaciones de revestimiento de material compuesto en solución acuosa y se deja secar, lo cual se forma una película membranosa delgada sobre la superficie de los productos básicos. En este caso, el espesor se ve afectado principalmente por la viscosidad y la densidad de las soluciones de revestimiento, y la tensión superficial de los productos recubiertos. El recubrimiento por inmersión es excelente para la producción de recubrimientos uniformes de alta calidad. Para lograr una cobertura uniforme de la superficie, la humectación completa de las superficies de las materias primas es fundamental. Por lo tanto, el revestimiento aplicado puede permanecer húmedo durante varios minutos hasta que el disolvente se evapora. La fruta que entra en el tanque de inmersión debe estar completamente seco para evitar la dilución del recubrimiento de emulsión (GRANT y BURNS, 1994)

### **9.6.2 Formación de espuma**

Las aplicaciones de espuma son útiles para algunos recubrimientos de emulsión. Un agente espumante se añade a la capa o se sopla aire comprimido en el tanque de aplicación. La espuma agitada se aplica a los productos que circulan por sobre rodillos o cepillos que distribuyen la emulsión sobre la superficie del producto. El exceso de recubrimiento se elimina mediante escobillas de goma posicionados debajo de los rodillos y, a veces se hace recircular. El revestimiento por pulverización es el método utilizado generalmente en la mayoría de los casos. Debido a la alta presión (60 a 80 psi), se requiere menos solución de recubrimiento. Este tipo de emulsión contiene poca agua y, por lo tanto, se seca muy rápidamente, pero la cobertura inadecuada es a menudo un problema (THARANATHAN et al., 2003).

### **9.6.3 Recubrimiento en lecho fluidizado**

El recubrimiento en lecho fluidizado es una técnica que se puede utilizar para aplicar una capa muy delgada sobre partículas secas de muy baja densidad o tamaño pequeño. La fluidización se produce cuando un lecho con partículas sólidas se le hace pasar un fluido hasta lograr una mezcla homogénea entre las partículas y el fluido (DEBEAUFORT y VOILLEY, 2009).

Un recubrimiento en lecho fluidizado se puede aplicar para mejorar o ajustar el efecto de los ingredientes funcionales y aditivos tales como agentes coadyuvantes de elaboración (enzimas de fermentación), conservantes (ácidos y sales), fortificantes (vitaminas y minerales), aromas y especias para aumentar la vida útil y otros aditivos para facilitar su manejo, mejora la estética, el sabor, y el color.

Los productos de panadería están recubiertos comúnmente con la técnica de lecho fluidizado que incluye una variedad de ingredientes, vitamina C, ácido acético, ácido láctico, sorbato de potasio, ácido sórbico, propionato de calcio, y sal. El lecho fluido de sal encapsulada se utiliza en las carnes para evitar el desarrollo de la rancidez. El inconveniente de esta técnica de aplicación del recubrimiento es su relativamente alto costo (DEWETTINCK Y HUYGHEBAERT et al., 1999).

### **9.6.4 Pulverización**

Cuando se requiere una capa fina y uniforme para ciertas superficies, la pulverización es útil. Este es el método más popular para el recubrimiento de frutas y verduras enteras, especialmente con el desarrollo de aplicadores de pulverización a alta presión y sistemas de aire de atomización. La boquilla de pulverización juega un papel crítico en el proceso de recubrimiento (DEBEAUFORT y VOILLEY, 2009).

La conversión de soluciones acuosas en películas comestibles es esencialmente una operación de recubrimiento y se lleva a cabo en el equipo diseñado para este propósito. Mientras que hay muchas diversas tecnologías disponibles para crear revestimientos delgados o películas delgadas, sólo dos métodos de conversión se utilizan normalmente para la fabricación de películas comestibles: fundición en transportadores de cinta de acero y de fundición sobre un sustrato desechable (por ejemplo, poliéster) en una línea de recubrimiento. (GUTOFF EB y COHEN ED, 1992)

### 9.6.5 Transportador de banda

Las soluciones se proyectan o se extienden uniformemente sobre una cinta de acero continuo que pasa a través de una cámara de secado para eliminar el agua. La película seca se elimina de la cinta de acero y se enrolla en rodillos de laminación para la conversión posterior. (GUTOFF EB y COHEN ED, 1992)

### 9.6.6 Red de línea de recubrimiento

Las soluciones se echan o se extienden uniformemente sobre una banda de soporte, por lo general una película de poliéster o papel de liberación revestido. El sustrato recubierto se pasa a través de una cámara de secado para eliminar el agua. La película seca, que se adhiere / pegado al sustrato, se enrolla en rollos. La película comestible se separa normalmente de la banda de soporte o sustrato en una operación secundaria. (GUTOFF EB y COHEN ED, 1992)

#### Variables de la formulación del recubrimiento

- **Formulación de recubrimiento:** La comprensión de las características de la solución de revestimiento es crítica para el diseño de un proceso de recubrimiento eficiente. Si la formulación es altamente sensible al cizallamiento, sensible a la temperatura, tensioactivo o contiene ingredientes volátiles, deben hacerse ajustes para garantizar que la manipulación física de la solución no crea degradación o defectos en la película terminada (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).
- **Número de capas:** La mayoría de las películas comestibles se producen en una sola capa, homogénea. Para tener varias capas, sería necesario hacer varias pasadas a través del proceso de recubrimiento y secado. Esto podría causar daños a los sabores, colores y otros ingredientes sensibles al calor (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).
- **Espesor de película húmeda:** Las películas muy delgadas serán difíciles de recubrir uniformemente creando películas frágiles débiles. Dependiendo de la viscosidad y la solución, la de sólidos, el espesor de película húmeda ideales estarán en el intervalo de 0,010 a 0,030 pulg. Se debe entender que un espesor de película seca final por debajo de 0,001 pulg. (25 mm) será difícil de producir y manejar después del secado (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).
- **La viscosidad.** La viscosidad de todas las soluciones de polímero depende de la velocidad de cizallamiento, la temperatura y sólidos de la solución, ya que es difícil de controlar bajo condiciones de cizallamiento dinámico observados en la mayoría de los sistemas de producción (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).).
- **Sólidos de la solución:** Una vez que una formulación ha sido desarrollada y la viscosidad de procesamiento se ha determinado, se definirán sólidos de la solución. Los sólidos se mantienen fijos mientras la viscosidad es aceptable para el recubrimiento de solución. Cualquier adición de agua para reducir la viscosidad causará una disminución en sólidos de la solución. El contenido de sólidos es un factor en la determinación de espesor de película húmeda, ya que el grosor de película húmeda multiplicado por el porcentaje de los sólidos es igual a espesor de

película seca. Por ejemplo, una solución de sólidos al 10% si emitidos en 0,020 pulg. sería igual a 0,002 pulg. de espesor de película seca. Si los sólidos de la solución son demasiado altas (por ejemplo, 50%), el espesor de película húmeda puede ser demasiado baja para un buen control del proceso y necesitaría la formulación que debe ser ajustado para reducir los sólidos (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).

- **Temperatura de la solución:** Una temperatura constante durante el procesamiento es crucial para la producción de películas precisas. Si la temperatura varía, la viscosidad de la solución, las características de flujo de fluidos, el perfil de secado también va a cambiar, y tendrá un profundo impacto en el proceso y la calidad del producto de la película terminada (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).
- **La superficie de recubrimiento:** La superficie a recubrir es crítico para la calidad de la película producida. Si la superficie es una cinta de acero, película de poliéster, u otro sustrato, la solución de revestimiento debe humedecer el sustrato para crear una película húmeda suave y uniforme. Si la actividad superficial de la solución de revestimiento es menor que la tensión superficial del sustrato, la solución fluirá a cabo sin problemas (GUTOFF EB y COHEN ED, 2007).

## **9.7 Claves para el éxito de la aplicación del revestimiento**

El éxito de un recubrimiento comestible para satisfacer las necesidades específicas de los alimentos depende fuertemente de su propiedad de barrera a los gases , especialmente el oxígeno y el vapor de agua, su adhesión a la superficie, la uniformidad de la cobertura de revestimiento y también la calidad sensorial del producto alimenticio recubierto. Estas propiedades, a su vez, dependen de la composición de recubrimiento, especialmente los polímeros que contiene, las propiedades de la superficie de recubrimiento y del producto alimenticio, la idoneidad del método de aplicación y las condiciones de almacenamiento.

### **9.7.1 Humedad y propiedades de barrera de gas**

La permeación, absorción y la difusión de vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono están entre las propiedades funcionales más importantes de cualquier recubrimiento comestible aplicadas a los alimentos. La mayoría de los materiales a base de proteínas y - basadas en polisacáridos son hidrófilos, y revestimientos a base de estos polímeros, por lo tanto no son buenas barreras al vapor de agua a menos que compuestos hidrófobos se incluyan en la formulación de revestimiento. Se requieren esfuerzos para desarrollar nuevos materiales de recubrimiento y las formulaciones de recubrimiento que son buenas barreras contra la humedad y que tengan la adhesión superficial aceptable, y para entender la funcionalidad y las interacciones entre los diferentes componentes de la fórmula de recubrimiento comestible (Wu et al. 2002).

La incorporación de ingredientes hidrófobos, tales como lípidos y ácidos grasos mejoran la barrera de humedad. Con el fin de maximizar el beneficio de recubrimientos comestibles, los materiales de recubrimiento y las formulaciones deben ser cuidadosamente seleccionados y diseñados. (PEREZ-GAGO Y KROCHTA et al., 2000)

Todos los revestimientos modifican la atmósfera dentro de frutas y verduras, dependiendo de cómo se aplique el recubrimiento influye en la permeabilidad de la cáscara. El exceso

de restricción de intercambio de gases puede resultar en etanol y sabores alcohólicos como resultado de la fermentación anaeróbica asociado con dióxido de carbono demasiado alto o concentraciones demasiado bajas de oxígeno. Por lo tanto, el control de la permeabilidad de la piel de la fruta es crítica en la modificación del ambiente interno de productos frescos para el propósito de conservación de los alimentos. (PEREZ-GAGO MB , KROCHTA JM et al.,1999).

La temperatura ambiental y la humedad relativa también influyen en las propiedades de humedad y barrera a los gases de los recubrimientos comestibles, en especial para los alimentos procesados que pueden estar sujetos a diferentes condiciones de temperatura y La temperatura y humedad constante son esenciales para sacar mayor provecho de las funciones de los recubrimientos. (PEREZ-GAGO M , KROCHTA J, 2001).

### **9.7.2 Atributos sensoriales de los alimentos**

Las cualidades sensoriales de los alimentos están fuertemente asociadas con las aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles. Muchos de los compuestos activos usados en la fabricación de películas y recubrimientos comestibles, incluyendo polímeros comestibles, plastificantes, y otros agentes activos, pueden afectar a los atributos sensoriales de los productos revestidos porque los agentes más activos tienen su propio sabor y color característicos, y las interacciones entre los compuestos pueden generar sabores únicos (ZHAO y MCDANIEL, 2005)

Afortunadamente, la concentración de la mayoría de los compuestos activos usados en películas y recubrimientos comestibles es muy baja; por lo tanto, sus efectos gustativos pueden ser insignificantes. Cuando se añaden altas concentraciones de agentes activos naturales, las capas de película y de recubrimiento pueden poseer el fuerte sabor de los agentes activos incorporados (LIN and ZHAO, 2007).

Los recubrimientos comestibles pueden mejorar la textura, reduciendo la pérdida de agua y la prevención de la deshidratación. Además, los recubrimientos comestibles pueden mejorar la integridad o la manipulación de características mecánicas de los productos alimenticios. Los recubrimientos comestibles pueden retardar la producción de etileno y retrasar el proceso de maduración, lo que impide el desarrollo de mal sabor durante el almacenamiento poscosecha del producto.

### **9.7.3 Incorporación de sustancias funcionales para mejorar la funcionalidad**

Una de las funciones únicas de recubrimientos comestibles es la capacidad para incorporar ingredientes funcionales en la matriz para mejorar su funcionalidad.

Un uso potencial de las películas comestibles en frutas lo constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento. Por ejemplo, el pardeamiento enzimático puede ser evitado mediante la incorporación de antioxidantes en la formulación de las coberturas. Entre los antioxidantes normalmente usados se encuentran, el ácido ascórbico y algunos aminoácidos como la cisteína entre otros. Dichos compuestos pueden usarse en combinación con antimicrobianos con el fin de aumentar la vida útil de frutas. Entre los principales agentes

antimicrobianos incorporados en recubrimientos comestibles se encuentran sorbatos, ácidos, bacteriocinas, lisozima y más recientemente aceites esenciales.

#### **9.7.3.1 Plastificantes**

El glicerol, monoglicérido acetilado, glicol de polietileno, y sacarosa son plastificantes comunes incorporados en la matriz de revestimiento polimérico para disminuir la temperatura de transición vítrea de los polímeros y aumentar la flexibilidad de recubrimiento. Los plastificantes son generalmente higroscópicos y atraen moléculas de agua. Además de mejorar las propiedades mecánicas, el plastificante afecta a la resistencia de los revestimientos a la permeación de vapores y gases, los plastificantes hidrófilos por lo general aumentan la permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos.

#### **9.7.3.2 Emulsionantes**

Los emulsionantes son capaces de reducir la tensión superficial de las interfaces de lípido-agua o agua-aire. Los emulsionantes son esenciales para la formación de proteínas o polisacáridos recubrimientos que contienen partículas de la emulsión de lípidos. Los emulsionantes también modifican la energía de superficie para controlar la adherencia y la humectabilidad de las superficies de recubrimiento. Otros ingredientes funcionales, tales como antioxidantes, antimicrobianos, nutraceuticos, sabor, y agentes de color pueden ser transportadas por recubrimientos comestibles y retenidos en la superficie del alimento para mejorar la calidad de los alimentos, la estabilidad, y la seguridad.

Una emulsión se compone de dos líquidos inmiscibles (por lo general de aceite y agua), con uno de los líquidos dispersos como pequeñas gotas esféricas en la otra. (McCLEMENTS et al., 2005). Los emulsionantes son compuestos de superficie activa con las estructuras moleculares tanto polares y no polares que reducen la tensión superficial (KROCHTA et al., 2002 ; Lin y Zhao et al., 2007). Los emulsionantes son esenciales para la formación de películas de proteínas o polisacáridos que contengan partículas de la emulsión de lípidos.

Las películas emulsionadas mejoran las propiedades barrera a la humedad y se pueden fabricar en un solo paso en contraste con un proceso de capa por capa para películas de múltiples capas (HAMBLETON et al., 2009). Las películas comestibles y emulsionantes de recubrimiento permitidas para el uso en los alimentos son: Monoglicéridos acetilados, lauril sulfato de amonio, monoestearato de etilenglicol, monoestearato de glicerol, ácido oleico, oleato de ácido linoleico de potasio, monoestearato de propilenglicol, sulfato de alquilo de sodio, oleato de sodio, monoestearato de sorbitán, lecitina, ácido esteárico estearato de sacarosa.



### **9.7.3.3 Agentes antimicrobianos**

Los agentes antimicrobianos comunes utilizados en sistemas alimentarios, tales como ácido benzoico, benzoato de sodio, ácido sórbico, sorbato de potasio, y ácido propiónico, se pueden incorporar en revestimientos.

La incorporación de compuestos antimicrobianos en películas o recubrimientos comestibles proporciona una nueva forma de mejorar la seguridad y la vida útil de los alimentos listos para el consumo (CAGRI et al., 2004). Algunos de los agentes antimicrobianos más comúnmente utilizados incluyen ácido benzoico, ácido sórbico, lisozima, lactoferrina, bacteriocinas (nisina y pediocina), y metabolitos secundarios derivados de plantas, tales como aceites esenciales y fitoalexinas, ácido benzoico, benzoato de sodio, ácido sórbico, sorbato de potasio, y ácido propiónico, se pueden incorporar en películas y recubrimientos comestibles.

### **9.7.3.4 Antioxidantes**

El ácido ascórbico se incorpora en recubrimientos comestibles para reducir el pardeamiento enzimático en las manzanas y las patatas en rodajas (BALDWIN et al., 1996). Los antioxidantes que se utilizan comúnmente con películas y recubrimientos comestibles son el ácido ascórbico, el butilhidroxianisol (BHA), el hidroxitolueno butilado (BHT), el ácido cítrico y los tocoferoles.

El corte de frutas y verduras puede inducir cambios indeseables en el color y el aspecto de estos productos durante el almacenamiento y comercialización. El fenómeno es causado generalmente por la enzima polifenoloxidasas, que en presencia de oxígeno, convierte los compuestos fenólicos en pigmentos de color oscuro. Los componentes antioxidantes de la fruta tales como compuestos fenólicos y ácido ascórbico están relacionados con el pardeamiento enzimático. Los compuestos fenólicos se oxidan a quinonas altamente inestables que posteriormente se polimerizan para pigmentos marrones, rojas y negras. El ácido ascórbico se utiliza ampliamente para evitar el pardeamiento enzimático de fruta debido a la reducción de las o-quinonas, generada por la acción de las enzimas polifenol oxidasa (PPO).

### **9.7.3.5 Nutrientes, saborizantes y colorantes**

Las películas y recubrimientos comestibles son excelentes vehículos para mejorar el valor nutritivo de las frutas y hortalizas mediante la entrega de nutrientes básicos y nutracéuticos que faltan o están presentes en sólo una baja cantidad en frutas y verduras. El recubrimiento de goma de xantano se utilizó para llevar a una alta concentración de calcio y la vitamina E, para no sólo prevenir la pérdida de humedad y blanqueamiento de la superficie, sino también para aumentar significativamente el contenido de calcio y de vitamina E de las zanahorias (MEI et al., 2002).

Los nutrientes, saborizantes y colorantes más comúnmente utilizados en películas y recubrimientos comestibles son aceites esenciales, cloruro de calcio,  $\beta$ -caroteno, dióxido de silicio.

#### 9.7.4 La encapsulación de sabores, nutraceuticos, y antibacterianos

Los recubrimientos comestibles proporcionan una barrera física contra el transporte de masa desde el entorno a la alimentación y de los alimentos para el medio ambiente. Los consumidores piden hoy en día mejorar la seguridad alimentaria y mejores propiedades nutritivas y de sabor. En los últimos años, el envasado activo ha sido desarrollado para extender la vida útil de los alimentos mediante el aumento de efecto positivo de los recubrimientos. Por ejemplo, más actividad se puede proporcionar a los recubrimientos comestibles mediante la adición de compuestos activos, tales como sabores, antibacterianos, o nutraceuticos. Los compuestos activos se pueden incorporar directamente en la matriz de polímero comestible o se pueden encapsular para proteger mejor su actividad y propiedades (SHIMONI, 2009).

La encapsulación de las biomoléculas se puede lograr utilizando dos métodos principales: El primero consiste en la fabricación de cápsulas en la que el compuesto se incluye como un núcleo o quedado atrapado en una matriz polimérica. Estos métodos de encapsulación se utilizan para aplicaciones de espectros grandes. El segundo método consiste en desarrollo de películas o recubrimientos en las que las biomoléculas están directamente incluidas y atrapados simplemente como una matriz, pero en una escala mayor. En este sistema de película de matriz, la película o recubrimiento contiene aroma, nutraceuticos, y compuestos activos. La liberación es controlada completamente por la difusividad molecular. (BRAZEL, 1999).

Para aumentar la potencialidad de las películas, más y más aplicaciones se combinan de los dos métodos anteriores para obtener sistemas de películas / cápsulas. En esta película estructurada o de recubrimiento, la cantidad de compuestos volátiles puede reducirse gracias a la baja transferencia a través de la película. Estos sistemas permiten la oxidación insignificante de los compuestos activos debido a la reducción de la difusividad de oxígeno. (MILLER Y KROCHTA, 1997).

El material de la matriz tiene que ser elegido para hacer frente a la gran cantidad de requisitos de desempeño, cada grupo de materiales tiene ciertas ventajas y desventajas, y estos materiales se combinan para producir sistemas de alta calidad. Las características funcionales de un material de la pared efectiva utilizada para encapsular componentes activos deberán cumplir las siguientes condiciones: (DEBEAUFORT et al., 2002).

- Permitir una eliminación completa del disolvente utilizado para la formación de la matriz o de la cápsula
- Llevar una protección máxima del ingrediente activo contra los factores externos
- Producir un sistema estable antes de la solidificación de las cápsulas dentro de una película
- Soltar los compuestos activos en el momento y el lugar deseado.

Las matrices de hidratos de carbono preferidos son el almidón y los ingredientes a base de almidón (almidones modificados, maltodextrinas,  $\beta$ -ciclodextrinas). En general, los hidrocoloides disminuyen la dulzura, gran parte del efecto que se atribuye a la viscosidad y la difusión impedida. Las proteínas de los alimentos (caseinato de sodio, proteína aislada de suero, proteína de soja y los aislados) tienen buena capacidad de producir las matrices de encapsulación eficientes.

## **9.8 Moléculas volátiles (aromas, aceites esenciales) para películas comestibles**

Una película comestible o recubrimiento deben tener una alta selectividad contra la transferencia de aroma, y que se pueda comer junto con el alimento protegido. La película o recubrimiento puede ser utilizado como un portador o soporte para mantener sabores en la superficie del producto (REINECCIUS et al, 2009).

Los compuestos de sabor y matrices que intervienen en películas y recubrimientos comestibles se deben componer principalmente de una sustancia formadora de película que proporciona cohesión a la matriz (red continua) o una sustancia de barrera que reduce la permeabilidad.

Debido a que los envases comestibles que contienen compuestos volátiles se consumen junto con los alimentos, su comestibilidad y la seguridad son esenciales. Por esta razón, los compuestos de sabor se pueden utilizar para obtener envases comestibles activos, pueden actuar como agentes antimicrobianos, antioxidantes, y aromatizantes. En particular, los aceites esenciales se pueden añadir a películas y recubrimientos comestibles para modificar el sabor, aroma y olor, así como para introducir propiedades antimicrobianas (MARTIN-BELLOSO et al., 2009).

Los aceites esenciales son considerados como alternativas a conservantes químicos, y su uso en alimentos cumple con las demandas de los consumidores para productos naturales minimamente procesados.

Los revestimientos con aceites esenciales se han usado para inhibir eficazmente el crecimiento de *L. innocua* inoculado en trozos de manzana así como las bacterias aeróbicas psicrófilas, levaduras y mohos. En algunos casos, los aceites esenciales como timol y carvacrol se añadieron a un revestimiento de base biológica como agentes antimicrobianos y no como compuestos aromatizantes (BEN ARFA et al., 2007; DEL NOBILE et al., 2008).

Las películas comestibles de gelatina y quitosano con aceite esencial de clavo tuvieron poder inhibitorio para la actividad antimicrobiana frente a seis microorganismos seleccionados: *Pseudomonas fluorescens*, *Shewanella putrefaciens*, *Photobacterium phosphoreum*, *Listeria innocua*, *Escherichia coli* y *Lactobacillus acidophilus*. (GÓMEZ-ESTACA et al., 2010).

Las propiedades de barrera de luz se han mejorado por la adición de extractos de orégano (*Origanum vulgare*) o romero (*Rosmarinus officinalis*), mediante la adición de quitosano o gelatina. (GÓMEZ-ESTACA et al., 2007). La gelatina parece ser una buena manera para encapsular aceites esenciales volátiles tanto antimicrobianos o antioxidantes.

### **9.8.1 Desempeño de los compuestos de aroma como barrera de películas comestibles**

El desempeño de los compuestos de aroma como barrera de películas comestibles y recubrimientos tiene como representante el D-limoneno. Aunque el D-limoneno es probablemente el compuesto de sabor más estudiado en el campo de la permeabilidad del polímero, no se utiliza a menudo como aromatizante de productos alimenticios sólidos.

Las interacciones entre constituyentes de películas y compuestos aromáticos tienen un gran impacto en la permeabilidad. Muy pocos trabajos se centraron en las transferencias de aroma relacionadas con las interacciones y los fenómenos de adsorción y difusión. Parece que las afinidades químicas entre compuestos de sabor y componentes de la película tienen más influencia en el valor de permeabilidad que los modelos de sorción de difusión clásicos.

### **9.8.2 Protección de los compuestos de sabor contra la degradación química por las películas y recubrimientos comestibles**

El problema más común que cae sobre el deterioro del sabor durante el almacenamiento es la oxidación. Cualquier aromatizante que contenga aceites de cítricos es susceptible a las reacciones y el desarrollo de malos sabores oxidativos.

La elección de un agente de encapsulación con propiedades de barrera al oxígeno adecuado dará lugar a sabores secos más estables. Debido a que el D-limoneno es sensible a la degradación oxidativa, varios estudios se centraron en la posibilidad de encapsular este componente del aroma. Diferentes ingredientes fueron elegidos como el almidón, maltodextrina y goma árabe (BERTOLINI et al., 2001).

Entre los materiales que pueden ser aplicados para preservar el aroma para la  $\kappa$  carragenina y el gluten de trigo fueron seleccionadas por sus útiles propiedades de barrera de gas (HAMBLETON et al., 2008)

La permeabilidad al oxígeno es entonces un factor clave para la mejora de la eficiencia en el recubrimiento de la película y los matrices de la película para proteger los compuestos de aroma encapsulados o recubiertos inicialmente presentes en los productos alimenticios.

### **9.8.3 Efecto de los compuestos volátiles en las propiedades estructurales y fisicoquímicas de las películas y recubrimientos comestibles**

El efecto de los compuestos volátiles en las propiedades estructurales y fisicoquímicas de las películas y recubrimientos comestibles depende de la incorporación de principios activos volátiles que afectan de manera significativa la estructura y organización de la red de la sustancia formadora de película y, en consecuencia, sus propiedades fisicoquímicas (PRANOTO et al., 2005).

La incorporación de compuestos de aroma o aceites esenciales siempre disminuye la transparencia y brillo de las películas comestibles hechos de carbohidratos o proteínas, a causa de la formación de estructura de emulsión durante el secado. La solubilidad de la

mayoría de los compuestos aromáticos y aceites esenciales es mucho menor que la cantidad añadida a la película que forman suspensiones (ATARES et al., 2010).

Tanto la microestructura como las propiedades mecánicas se ven afectadas por el compuesto de sabor o la encapsulación de aceites esenciales incluyendo la permeabilidad de las películas a otros compuestos volátiles tales como vapor de agua, oxígeno, u otros compuestos aromáticos (FABRA et al., 2008)

Los lípidos en la microestructura de la película emulsionada son un factor determinante en eficacia de la barrera de agua. Depende de la solubilidad del compuesto volátil en la película comestible, de su presión de vapor, la volatilidad, la hidrofobicidad (a menudo expresada como el coeficiente de partición entre agua y octanol), la solubilidad (gobernada por la naturaleza química de la película y de compuestos volátiles), la movilidad molecular de la matriz, coeficiente de difusión volátil, y muchos parámetros externos tales como temperatura, presión, niveles de humedad, y así sucesivamente. Por lo tanto cuando se añaden aroma o aceites esenciales en películas comestibles no puede predecir fácilmente lo que sucedería en otras situaciones o condiciones debido a que el físico-químico no siempre se han reportado explicaciones (Sanchez Gonzalez et al., 2009).

Actualmente, hay una tendencia creciente a emplear materiales de embalaje favorables al medio ambiente con la intención de la sustitución de materiales no degradables, reduciendo así el impacto ambiental resultante de la acumulación de residuos. Para hacer frente al medio ambiente, y al mismo tiempo ampliar la plataforma de calidad de vida y alimentos al tiempo que reducen residuos de envases ha catalizado la exploración de nuevos materiales de envasado de origen biológico tales como películas comestibles y biodegradables (Tunc y Duman, 2011).

## **X. CONCLUSIONES**

Los recubrimientos comestibles sirven como una barrera de humedad en la superficie de los productos frescos y mínimamente procesados para ayudar a aliviar el problema de la pérdida de humedad durante el almacenamiento después de la cosecha, que conduce a la pérdida de peso y cambios en la textura, sabor y apariencia.

Los recubrimientos también funcionan como una barrera de gas para controlar el intercambio de gases entre los productos frescos y su atmósfera circundante, y por lo tanto disminuyen la respiración y retrasan el deterioro, retardan la oxidación enzimática, y protegen contra la decoloración por pardeamiento y pérdida de la textura durante el almacenamiento.

Las películas protegen los productos contra el daño físico causado por impacto mecánico, presión, vibraciones, y otros factores. Los recubrimientos funcionan como portadores de principios activos, tales como antimicrobianos, antioxidantes, nutraceuticos, colores, sabores y otros aditivos usados para mejorar la calidad.

La aplicación exitosa de los recubrimientos comestibles sobre alimentos está dominada por varios factores críticos, incluyendo el tipo de material del revestimiento y su formulación específica, el método de aplicación, y las características de la superficie del alimento.

Los requisitos específicos de barrera y especificaciones de los productos alimenticios determinará el tipo de capa que es mejor para una situación dada. Los productos con altos contenidos de humedad necesitan capas de grasa para evitar la pérdida de agua. Para evitar una posible decoloración, se necesita un componente de barrera de oxígeno. Las grasas no saturadas que se oxidan fácilmente requieren capas protectoras similares.

La incorporación de antioxidantes y agentes antimicrobianos puede limitarse a la superficie a través del uso de películas comestibles, minimizando así el coste y el sabor intrusivo.

El éxito de un recubrimiento comestible se basa en las propiedades fisicoquímicas y de barrera de sus componentes (proteínas, polisacáridos, lípidos). Por lo tanto, la determinación de la composición y las proporciones de los componentes adecuados es de suma importancia con el fin de extender la vida útil y mejorar la calidad de los alimentos.

El uso de recubrimientos comestibles sobre una amplia gama de productos de corte en fresco y en una escala comercial es aún limitada por varios factores. Muchas formulaciones de recubrimientos comestibles disponibles se caracterizan por su alta hidrofiliidad, que no proporciona una barrera contra la humedad satisfactoria a los productos recién cortados con la alta actividad de agua.

Las películas y recubrimientos a base de polisacáridos tienen el potencial de ser utilizado en una variedad de aplicaciones. Las películas de polisacáridos y recubrimientos se pueden utilizar para extender la vida útil de las frutas, verduras, carnes, mariscos y productos de panadería previniendo la deshidratación, la rancidez oxidativa, pardeamiento de la zona, y de difusión de aceite, o incluso por la modificación de la atmósfera interna de los productos alimenticios metabólicamente activos. Por otra parte, las películas y

recubrimientos comestibles son sistemas prometedores para la mejora de la calidad de los alimentos, la vida útil, la seguridad y la funcionalidad.

La incorporación de compuestos activos tales como antimicrobianos, antioxidantes o nutraceuticos, en películas y recubrimientos comestibles puede mejorar la seguridad y la vida útil y puede utilizarse para mantener una mejor calidad durante el almacenamiento.

Las propiedades de las películas comestibles utilizadas para la encapsulación de materiales saborizantes son críticas para la eficacia del material aromatizante. Las maltodextrinas son relativamente baratas, pero carecen de la mayoría de las propiedades funcionales deseadas en un material de encapsulación. Los sólidos de jarabe de maíz también son baratos y proporcionan una excelente protección contra la oxidación. Sin embargo, también dan mala retención durante el secado y sin emulsificación. Los almidones alimenticios modificados son de precio moderado excelentes emulsionantes, y dan una excelente retención de sabor durante el secado. Estos materiales pueden dar una protección limitada a la oxidación a menos que se mezclen con otros materiales (por ejemplo, mono- y disacáridos, maltodextrinas o sólidos de jarabe de maíz).

Por otra parte, cuando se aplica a las frutas y verduras, los recubrimientos a base de polisacáridos pueden mejorar las propiedades físico-químicas, nutricionales y sensoriales de los productos alimenticios. Varios estudios han demostrado que la incorporación de los compuestos activos, tales como antimicrobianos, antioxidantes o bacteriocinas, dentro de películas y recubrimientos comestibles puede mejorar la seguridad microbiana, la vida útil y la calidad de la carne, pescado, frutas y productos vegetales durante el almacenamiento.

Por último, otra de las tendencias en el desarrollo de nuevos recubrimientos es la incorporación de aditivos saludables, incluyendo probióticos (*Bifidobacterium lactis*) con introducción de algún ácido ascórbico, vitaminas, calcio o vitamina E.

Un tema importante en la alimentación funcional es la encapsulación eficiente de ingredientes de alto valor añadido, como los ácidos grasos poliinsaturados, sabores, vitaminas e ingredientes que promueven la salud, en relación con la mejora de las funcionalidades. La microencapsulación mediante secado por pulverización es la forma más económica y flexible que la industria alimentaria puede encapsular ingredientes. Por lo tanto, esta tecnología se está convirtiendo en disponible para satisfacer las necesidades cada vez más especializadas del mercado. Además, el proceso de lecho fluido es una técnica de encapsulación prometedor para la producción a gran escala de polvos de sabor para ser aplicados en la industria alimentaria.

La elección de una técnica apropiada de encapsulación depende de las propiedades de los compuestos, el grado de estabilidad necesaria durante el almacenamiento y el procesamiento, las propiedades de los componentes de los alimentos, las propiedades de liberación específicas requeridas, la carga máxima molécula obtenible en el polvo, y el costo de producción.

## **XI. RECOMENDACIONES**

Es importante investigar la calidad sensorial de los materiales de revestimiento y productos revestidos, incluyendo apariencia, color, aroma, sabor, y textura, ya que son factores importantes que influyen en el éxito comercial de los productos recién cortados.

Se recomienda el uso de las películas comestibles a base de proteínas ya que son las barreras más eficaces contra la transferencia de oxígeno y son más adecuados para la protección del sabor. Las proteínas interactúan en un grado mayor con los compuestos de sabor. Pero la protección de oxígeno varía fuertemente con el nivel de humedad. El aumento de la actividad de agua o humedad relativa tiende a aumentar agrandar 10-105 veces la permeabilidad al oxígeno.

Se recomienda el uso de biopolímeros renovables tales como polisacáridos, proteínas, gomas, lípidos, y sus derivados, de origen animal y vegetal, no sólo para formar cápsulas, sino también para formar películas y recubrimientos capaces de encapsular biomoléculas particulares, que no sólo garantizan la seguridad alimentaria, sino que también son buena fuente de nutrición.

Se necesita mucha investigación para demostrar la eficacia de los recubrimientos de proteína para la reducción del cambio de humedad, la oxidación, la migración del aroma y el aceite, y la mejora de la integridad de la película con el fin de ayudar a los recubrimientos de proteínas a alcanzar su máximo potencial.

El desarrollo de nuevas tecnologías que permiten mayor control de las propiedades de revestimiento y funcionalidades se están investigando. Entre ellos, una nueva técnica, llamada micro y nanoencapsulación a diferencia de macroencapsulación consiste en la incorporación de ingredientes funcionales y compuestos antimicrobianos en recubrimientos comestibles.

Sin embargo, más investigación a escala industrial y en condiciones comerciales debe llevarse a cabo con el objetivo de obtener una información más realista y práctico para la comercialización efectiva de los productos recubiertos.



## XII. BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, C. Diseño de una Biopelícula Comestible en Base a Propiedades Físicas. Universidad de Santiago de Chile. 2010
- AGULLÓ, E.; RODRÍGUEZ, M.; RAMOS, V.; ALBERTENGO L. Present and future role of chitin and chitosan in food. *Macromol.* p. 230. 2003.
- ALBERT, S., y G.S. MITTAL. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *p.* 445–458.
- ALVES, R., GROSSMANN, M. y SILVA R. Gelling properties of extrude yam (*Dioscorea alata*) starch, *Food Chemistry.*, 67. p. 123-127. 1999.
- AMARANTE, C., y N.H. Banks. 2001. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. *Hort. Rev.* 26.p. 161–238.
- ANUSAVICE. P : Ciencia de los materiales dentales. Undésima edición. Elsevier España. p 148. 2004.
- ARAI, K., S. Naito, V.B. NAGASAWA, y M. Hirano. Crosslinking structure of keratin. Number, type, and location of disulfide crosslinkages in low-sulfur protein of wool fiber and their relation to permanent set.. p.169–179. 1996.
- ARMITAGE, D.B., HETTIARACHCHY, N.S., MONSOOR, M.A. Natural antioxidants as a component of an egg albumen film in the reduction of lipid oxidation in cooked and uncooked poultry. *Journal of Food Science* 67.p.631–634. 2002.
- ARVANITOYANNIS, I. Formation and properties of collagen and gelatin films and coatings. In *Protein-based films and coatings*, ed. A. Gennadios. Boca Raton, FL: CRC Press. p.275–304. 2002.
- ATARES, L., DE JESUS, C., TALENS, P., y CHIRALT, A., *Journal of Food Engineering*, 99.p.384–391. 2010.
- ATARES, L., De Jesus, C., TALENS, P., CHIRALT, A.. Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 99.p.384–391. 2010
- ATTERHOLT, C.A., M.J. DELWICHE, R.E. RICE, y J.M. KROCHTA. Study of biopolymers and paraffin as potential controlled-release carriers for insect pheromones. *J Agric Food Chem* 46:4429–4434. 1998
- AVENA-BUSTILLOS, R.J., L.A. CISNEROS-ZEVALLOS, J.M. KROCHTA, y M.E. Saltveit. Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharvest Biol Technol* 4.p.319–329. 1994.

- AVILA A. Películas de quitosano con sorbato de potasio unido física y covalentemente, estudios de aplicación. *Revista iberoamericana de polímeros*. p. 78 – 83. 2010
- AYDT, T.P., C.L. Weller, y R.F. Testin. Mechanical and barrier properties of edible corn and wheat protein films.p. 207–211. 1991.
- AYRANCI, E., y S. TUNC. The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* L.) and green peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Chem.* 87. p.339–342.
- BAI, J., E.A. BALDWIN, y R.H. HAGENMAIER. Alternatives to shellac coatings provide comparable gloss, internal gas modification, and quality for ‘Delicious’ apple fruit. *HortSci* 37.p.559–563. 2002
- BAI, J., V. ALLEYNE, R.D. HAGENMAIER, J.P. Mattheis, y E.A. Baldwin. Formulation of zein coatings for apples (*Malus domestica* Borkh). *Postharvest Biol Technol.* 28.p.259–268.2003
- BALDWIN, E.A.. Edible coatings for fresh fruits and vegetables: Past, present, and future. In: J.M. Krochta, E.A. Baldwin, and M.O. Nisperos-Carriedo .*Edible Coating and Films to Improve Food Quality*. Technomic, Lancaster, PA. p. 25–64.1994
- BALDWIN, E.A., BURNS, J.K., KAZOKAS, W., BRECHT, J.K., HAGENMAIER, R.D., BENDER, R.J., y E. Pesis. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology* 17. p. 215–226. 1999.
- BALDWIN EA y NISPEROS NO. Use of edible coatings to pre-Serve quality of lightly (and slightly) processed products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35.p.509 – 524. 1995
- BALDWIN, E.A., M.O. NISPEROS, R.D. HAGENMAIER, y R.A. Baker. Use of lipids in coatings for food products. *Food Technol.* 51.p.56–64. 1997.
- BALDWIN, E.A. Coatings in food preservation. In: S. Rahman (ed.). *Handbook of Food Preservation*. CRC Press, Boca Raton, FL. Baldwin, E.A. 2004. Ethylene and postharvest commodities. *HortScience*. 39: 1538–1540. 1999. p. 577–610.
- BALDWIN, EA. Surface treatments and edible coatings. In: Rahman, MS (Ed.). *Handbook of Food Preservation*, 2nd ed, CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, FL. p. 477–508. . 2007.
- BALDWIN, EA, y WOOD, BW. Use of edible coating to preserve pecans at room temperature.*HortScience*. 41.p.188–192. 2006.
- BALDWIN, E.A., HAGENMAIER, R. *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Boca Raton. Second Edition. CRC Press. 450 p. 2012
- BEN ARFA, A., CHRAKABANDHU, Y., PREZIOSI-BELLOU, L., CHALIER, P., GONTARD, N. Coating papers with soy protein isolates as inclusion matrix of carvacrol. *Food Research International*. 40.p. 22–32. 2007.

- BERTOLINI, A.C., SIANI, A.C., GROSSO, C.R.F. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49.p. 780–785. 2001.
- BEVERLYA, R.; JANES M.; PRINYAWIWATKULA, W.; No, H. Edible chitosan films on ready-to-eat roast beef for the control of *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiol.*25.p.534-537. 2008.
- BIXLER, H.J. Recent developments in manufacturing and marketing carrageenan. p. 35–37. 1996.
- BRANCOLI, N., y G.V. BARBOSA-CÁNOVAS. Quality changes during refrigerated storage of packaged apple slices treated with polysaccharide films. In *Innovations in Food Processing*, eds. G.V. Barbosa-Cánovas, and G.W. Gould.p.243–254. Lancaster, PA: Technomic. 2000
- BRANDENBURG, A.H., C.L. Weller, y R.F. Testing. Edible films and coatings from soy protein. *J Food Sci* 5. p.1086–1089. 1993
- BRAUNEGG G, LEFEBVRE G y GENSER K F. Review article Polyhydroxyalkanoates, biopolyesters from renewable resources: Physiological and engineering aspects. *Journal of Biotechnology* 65, p. 127–161. 1998.
- BRAZEL, C.S. Microencapsulation: offering solution for the food industry. *Cereal FoodsWorld*, 44. p.388–393. 1999
- BRISTON, J.H. Films, plastic. In *The Wiley encyclopedia of packaging technology*, ed.M. Bakker.p. 329–335. New York: John Wiley & Sons. 1986
- CAGRI, A., Z. Ustunol, y E.T. Ryser. Inhibition of three pathogens on bologna and summer sausage using antimicrobial edible films. *J Food Sci* 67. p. 2317–2324. 2002.
- CAGRI, A., Z. Ustunol, W. Osburn, y E.T. Ryser. Inhibition of *Listeria monocytogenes* on hot dogs using antimicrobial whey protein-based edible casings. *J Food Sci* 68.p. 291–299. 2004.
- CAICEDO MESA L.A; CARREÑO PIENA L.D. Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*. Universidad EAFIT. pp. 307–335. 2012.
- CARREÑO PIENA L.D. Efecto de las Condiciones de Cultivo y Purificación sobre las Propiedades Fisicoquímicas y de Transporte en Membranas de Celulosa Bacteriana. Trabajo de grado Doctor en ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Bogotá D.C., Colombia 2011.
- CALLEGARIN F, QUEZADA Gallo JA , DEBEAUFORT F , Voilley A. Lipids and biopackaging . *J. Am. Oil Chem. Soc* , 74. p.1183 – 1192. 1997

- CAPDEVILLE, G., DE WILSON, C.L., BEER, S.V., Aist, J.R. Alternative disease control agents induce resistance to blue mold in harvested Red Delicious apple fruit. En: *Phytopathology*. Vol.92, p.900–908. 2002.
- CARLIN, F., N. GONTARD, N. REICH, y C. Nguyen-The Utilization of zein coating and sorbic acid to reduce *Listeria monocytogenes* growth on cooked sweet corn. *J Food Science* 66. p. 1385–1389. 2001
- CHAVEZ, J.L; YEE, S.M; ZENTELLA M.C. Celulosa bacteriana en gluconacetobacter xylinum: biosíntesis y aplicaciones *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas*, vol. 7, núm. p. 18-25, Universidad Nacional Autónoma de México 2004.
- CHEN G-Q. A microbial polyhydroxyalkanoates (PHA) based bio- and materials industry. *Chemical Society Reviews*.p. 2434–2446. 2003.
- CHIEN, P.J., y C.C. Chou. Antifungal activity of chitosan and its application to control post-harvest quality and fungal rotting of Takan citrus fruit (*Citrus takan Hayata*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86.p.1964–1969. 2006
- CHIEN, P.J., Sheu, F., Yang, F.H. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *J. Food Engineering*. 78. p. 225–229. 2007
- CHIEN, P.J., Sheu, F., and H.R. Lin. Quality assessment of low molecular weight chitosan coating on sliced red pitayas. *Journal of Food Engineering* 79. p.736–740. 2007
- CHLEBOWSKA-ŚMIGIEL, A., M. GNIEWOSZ, y E. Świńczak. An attempt to apply a pullulan and pullulan-protein coatings to prolong apples shelf-life stability. p. 49–56.2007
- CHO, S.Y., y C. Rhee. Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. *Lebensm Wiss Technol* 35. p.151–157. 2002.
- CHO, S.Y. y C. Rhee. Mechanical properties and water vapor permeability of edible films made from fractionated soy proteins with ultrafiltration.p. 833–839. 2004.
- CHOI, S.G., K.M. Kim, M.A. Hanna, C.L. Weller, y W.L. Kerr. Molecular dynamics of soy-protein isolate films plasticized by water and glycerol. *J Food Science* 68. p.2516–2522. 2003
- COMA V. Bioactive packing technologies for extended shelf life of meat – based products. *Meat science*. p 90 -103. 2008
- COMYN, J. Introduction to polymer permeability and the mathematics of diffusion. In *Polymer Permeability*. J. Comyn, ed. New York: Elsevier, p. 1–10. 1985
- CONCA, K.R. Protein-based films and coatings for military packaging applications. In *Protein-based films and coatings*, Gennadios, A., (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL. p. 551–577. 2002.

- CONG, F., Y. ZHANG, y W. Dong. Use of surface coatings with natamycin to improve the storability of 'Hami' melon at ambient temperature. *Postharvest Biol Technol* 46.p. 71–75.
- CONFORTI, F.D., y J.A. Totty. Effect of three lipid/hydrocolloid coatings on shelf life stability of Golden Delicious apples. *International Journal of Food Science and Technology* 42. p.1101–1106. 2007.
- COVIELLO, T., MATRICARDI, P., MARIANECCI, C., y F. Alhaique. Polysaccharide hydrogels for modified release formulations. *Journal of Controlled Release* 119. p.5–24. 2007.
- CRANK, J. The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford, England. 1975.
- CUQ, B. Formation and characterization of biomaterials from myofibrillar proteins. Ph.D. Dissertation. University of Montpellier, France, p. 211. 1996
- CUQ, B. Formation and properties of fish myofibrillar protein films and coatings. In *Proteinbased films and coatings*, ed. A. Gennadios, 213–232. Boca Raton, FL: CRC Press. 2002.
- CUQ, B., C. AYMARD, J.L. Cuq, y S. Guilbert. Edible packaging films based on fish myofibrillar proteins: Formation and functional properties. *J Food Science* 60. p. 1369–1374. 1995
- DANGARAN, K.L., P. COOKE, y P.M. TOMASULA. The effect of protein particle size reduction on the physicol properties of CO<sub>2</sub>-precipitated casein films. *J Food Science*. 71. p.196-201. 2006
- DANGARAN, K.L., J. RENNER-NANTZ, y J.M. KROCHTA. Whey protein-sucrose coating gloss and integrity stabilization by crystallization inhibitors. *J Food Science* 71. p. 152–157. 2006.
- DARMADJI, P.; IZUMIMOTO, M..Effects of chitosan and nitrite on the properties of fermented meat.p. 639-646. 1994
- DAWSON, P.L., D.E. HIRT, J.R. RIECK, J.C. ACTON, Y A. SOTTHIBANDHU. Nisin release from films is affected by both protein type and film-forming method. P. 959–968.2003.
- DEBEAUFORT, F, y VOILLEY, A. Lipid-based edible films and coatings. In: Embuscado, M, y Huber, KC. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York. p. 135–168. 2009
- DEBEAUFORT F. QUEZADA – GALLO, J. y VOILLEY A. Edible films and coatings: Tomorrow Packing: A Review. *Critical reviews in food scienc*, 38. p, 299–313. 1998.

- DEBEAUFORT F, QUEZADA JA, VOILLEY A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings. p. 299 – 313. 1998
- DEL-VALLE, V., HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P., Guarda, A., y M.J. Galotto. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. p. 751–756. 2005
- DIAB, T., BILIADERIS, C.G., GERASOPOULOS, D., y E. SFAKIOTAKIS. Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81. p. 988–1000. 2001
- DJORDEVIC, D., CERCACI, L., ALAMED, J., MCCLEMENTS, D.J., Decker, E.A. Chemical and physical stability of protein- and gum arabic- stabilized oil-in-water emulsions containing limonene. *Journal of Food Science*, 73.p. 167–172. 2008
- DONG, T., R. XIA, M. WANG, Z. XIAO, F y P. Liu. Changes in dietary fibre, polygalacturonase, cellulase of 'Navel' orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck 'Cara Cara') fruits under different storage conditions. *Sci Hort.* 116. p.414–420. 2008
- DONHOWE I. G., FENNEMA O. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods. In: Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos- Carriedo N O editors. *Edible coatings and films to improve food quality*. Lancaster, Pa: Technomic Pub Co. pp 1-24. 1994
- DRAGET, K.I., MOE, S.T., SKJÅK-BROEK, G., y O. SMIDSRØD. Alginates. In *Food Polysaccharides and Their Applications*, eds. A.M. Stephen, G.O. Phillips, and P.A. Williams, 290–328. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. 2006
- DRAKE, S.R., FELLMAN, J.K., y J.W. NELSON. Postharvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored 'Golden delicious' apples. *Journal of Food Science* 52. p. 685–690. 1987
- DUAN, J, CHERIAN, G, y ZHAO, Y. Fish oil incorporated chitosan coatings for enhancing quality and nutraceutical benefit of ling cod fish. *p.* 524– 532. 2009
- DURANGO, A.M., SOARES, N.F.F., Y N.J. ANDRADE. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control* 17.p.336–341. 2006.
- DURANGO, A. Desenvolvimento de um revestimento comestível a base de amido de inhame com quitosana na conservação de cenoura minimamente processada- (PhD. Teses). Viscosa – MG (Brazil): Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 128p.2004
- DURANGO, A.M; SOARES, N.F; ARTEAGA, MR, Filmes y revestimientos comestibles como empaques activos biodegradables em La conservación de los alimentos. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*.p.112-118.2011
- EMBUSCADO, M.E., y HUBER, K.C., *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Springer Science, New York, 2009.

- ESCOBAR D., SALA A., SILVERA C., HARISPE R., MARQUEZ R. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay*. N° 4. 2009.
- FABRA, M.J., HAMBLETON, A., TALENS, P., DEBEAUFORT F., CHIRALT, A., y VOILLEY, A., *Biomacromolecules*. p. 1406–1410, 2008.
- FABRA, M.J., HAMBLETON, A., TALENS, P., DEBEAUFORT, F., CHIRALT, A., y VOILLEY, A., *Carbohydrate Polymers*. p. 325–332. 2009;
- FABRA, M.J., HAMBLETON, A., TALENS, P., DEBEAUFORT F., CHIRALT, A., VOILLEY, A. Aroma barrier properties of sodium caseinate-based edible films. *Biomacromolecules*. p. 1406–1410. 2008
- FAMÁ, L.; FLORES, S.; ROJAS, A. M.; GOYANES, S.; GERSCHENSON, L. Comportamiento mecánico dinámico de películas comestibles a bajas temperaturas: influencia del contenido de sorbato y grado de acidez. *Revista SAM*. p. 157-162. 2004
- FARBER, J.N., L.J. HARRIS, M.E. PARISH, L.R. BEUCHAT, T.V. SUSLOW, J.R. GORNEY, E.H. GARRETT y F.F. BUSTA. Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. *Compr Rev Food Sci Food Safety*. 2.p.142–160. 2003
- FAROUK, M.M., J.F. PRICE, AND A.M. SALIH. Effect of an edible collagen film overwrap on exudation and lipid oxidation in beef round steak. *J Food Science*. p. 1510, 1563. 1990
- FERNANDEZ-SAIZ, P.; SOLER, C.; LAGARON, J.; OCIO, M. Effects of chitosan films on the growth of *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. in laboratory media and in fish soup. *Int. J. Food Microbiol*. p. 287-294. 2010
- FOSTER, R. Ethylene-vinyl alcohol copolymers (EVOH). In *The Wiley encyclopedia of packaging technology*, ed. M. Bakker. New York: John Wiley & Sons. p. 270–275. 1986
- FOX, P.F., Y P.L.H. MCSWEENEY. *Dairy chemistry and biochemistry*. London: Blackie Academic & Professional. 1998
- FRANSSEN, L.R., y J.M. Krochta. Edible coatings containing natural antimicrobials for processed foods. In *Natural Antimicrobials for Minimal Processing of Foods*, ed. S. Roller. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 250-262. 2003
- GARCÍA, M., MARTINO, M. y ZARITZKY N. Edible starch films and coating characterization: scanning electron microscopy. Water vapor and gas permeabilities, scanning. p 348-353. 1999

- GARCÍA, M., MARTINO, M. Y ZARITZKY N. Lipid Addition to improve Barrier Properties of Edible Starch- based films and Coatings, *Journal of Food Science* 65 (6),p. 941-947.2000
- GARCIA, M.A., A. PINOTTI, M.N. MARTINO, y N.E. ZARITZKY. Characterization of composite hydrocolloid films. *p.339–345. 2004*
- GARCIA, M., MARTINO M., and Zaritzky, N. 1998. Plasticized starch based coatings to improved strawberry (*Fragaria ananassa*) quality and stability, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46:3758–3767.
- GARCÍA, D.M. Materiales macroporosos biodegradables basados en quitosano para la ingeniería tisular. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 2008
- GARCIA, F.T. Effect of the thermal treatment of the filmogenic solution on the mechanical properties, color and opacity of films based on muscle proteins of two varieties of Tilapia. *p. 289–296.2005*
- GENNADIOS, A., MCHUGH, T.H., WELLER, C.L., y KROCHTA, J.M. Edible coatings and films based on proteins. In *Edible coatings and films to improve food quality*. J.M. Krochta, E.A. Baldwin, M.G. Nispero-Carriedo (Eds.), Technomic, Lancaster, PA, p. 201–277. 1994
- GENNADIOS, A., y C.L. WELLER. Edible films and coatings from wheat and corn proteins. *p. 63–69. 1993*
- GENNADIOS, A., y C.L. WELLER. Edible films and coatings from soymilk and soy protein. *Cereal Foods World* 36. p. 1004–1009. 1996
- GENNADIOS, A., C.L. WELLER, y R.F. Testin. Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. *J Food Science* 58. p. 212–214, 219. 1998
- GENNADIOS, A., H.J. PARK, Y C.L. WELLER. Relative humidity and temperature effects on tensile strength of edible protein and cellulose ether films. *p. 1867–1872. 1990*
- GENNADIOS A., BRADENBURG A. H., PARK J. W., WELLER C. L, TESTIN R. F. Water vapor permeability of wheat gluten and soy protein isolate films. *Industrial Crops and Products* 2.p.189-195. 1997
- GENNADIOS, A., *Protein-Based Edible Films and Coatings*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2002
- GENNADIOS A , HANNA MA , KURTH L. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review .p.337 – 350.1997



- GEORGANTELIS, D.; AMBROSIADIS, L.; KATIKOU, P.; BLEKAS, G.; GEORGAKIS, S. Effect of rosemary extract, chitosan and  $\alpha$ -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4°C.p.172-181. 2007
- GOMEZ-ESTACA, J., Montero, P., Gimenez, B., Gomez-Guillen, M.C. Effect of functional edible films and high pressure processing on microbial and oxidative spoilage in coldsmoked sardine (*Sardina pilchardus*). *Food Chemistry*.p. 511–520.2007
- GOMEZ-ESTACA, J., LOPEZ DE LACEY, A., LOPEZ-CABALLERO, M.E., GOMEZ-GUILLEN, M.C., MONTERO, P. Biodegradable gelatin–chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation *Food Microbiology*.p. 889– 896. 2010
- GOMEZ CARDOSO, J.R. Producción y caracterización de polihidroxialcanoatos, sintetizados por microorganismos nativos a partir de residuos grasos. Tesis de Grado presentada para optar al Título de magíster en ciencias-biotecnología. Universidad nacional de Colombia. Sede medellín. Facultad de ciencias. 2013
- GOMEZ-GUILLEN, M.C., M. IHL, V. BIFANI, A. SILVA, y P. MONTERO. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (*Ugni molinae* Turcz). *Food Hydrocol* 21:1133–1143. 2007
- GOMEZ-ESTACA, J., P. MONTERO, B. GIMENEZ, Y M.C. GOMEZ-GUILLEN. Effect of functional edible films and high pressure processing on microbial and oxidative spoilage in cold-smoked sardine (*Sardina pilchardus*). *Food Chem* 105.p.511–520.2007
- GÓMEZ ESTACA, J.; LÓPEZ DE LACEY, A.; LÓPEZ- CABALLERO, M.; GÓMEZ-GUILLÉN, M.; MONTERO, P. Biodegradable gelatinechitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. p. 889-896. 2010
- GONTARD, N., S. GUILBERT, Y J.L. CUQ. Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. .p. 190–195, 199. 1992
- GONTARD, N., S. GUILBERT, Y J.L. CUQ. . Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *J Food Science*.p. 206–211. 1993
- GONTARD, N., DUCHEZ, C., CUQ, B., AND GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science and Technology* 44. p.1064–1069. 1994
- GRANT, L, y BURNS, JK. Application of coatings. In: Krochta, JM, Baldwin, EA, y Nisperos-Carriedo, M. *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Technomic, Lancaster, PA. p. 189–200. 1994
- GREEN, D.R., Nowakowski, C.. Low sugar presweetened coated cereals and method of preparation. Canadian Patents 2505186. 2005

- GUILBERT, S. Edible films and coatings and biodegradable packaging. *Bull Int. Dairy Feder.* 346. p.10–16. 2000
- GUILBERT, S., y Gontard, N. Edible and biodegradable food packaging. In *Foods and packaging materials—chemical interactions*. P. Ackermann, M. Jägerstad, and T. Ohlsson (Eds.). The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 159–168. 1995.
- GUILBERT, S., N. GONTARD, M.H. MOREL, P. CHARLIER, V. MICARD, y A. REDL. Formation and properties of wheat glute films and coatings. In *Protein-based films and coatings*, ed. A. Gennadios, p. 43–67. Boca Raton, FL: CRC Press.2002
- GUILBERT, S., CUQ B. Y GONTARD, N. Recent innovations in edible and /or biodegradable packing materials. *Food additives and contaminants*.p 741- 751.1997
- GUILBERT, S. y N. Gontard. Agro-polímeros de comestibles y biodegradables películas: revisión de materiales poliméricos agrícolas, características físicas y mecánicas. En *Innovación en Packaging Food*, ed. J.H. Han. p.263 -276. Oxford: Elsevier. 2005
- GUILBERT S, BIQUET B. Edible films and coatings. In: *Food Packaging Technology*. G Bureau, JL Multon (eds.). New York: VCH Publishers, Inc. 1996
- GUILLEN-ROMAN CJ: MIRANDA – GARCIA MF: ARREDONDO-OLALDE J. Efecto de la concentración de calcio y extractos polifenólicos de acacia angustísima sobre la permeabilidad al vapor de agua de películas de alginato de sodio plastificadas con glicerol. Dpto IBQ, ITC, Av. Tecnológico y A. García cubas S/N, C.P. 38010 Celaya Gto., Mex. *Facultad de Ingeniería, UAQ* Centro universitario, Cerro de las campanas, Querétaro Qro., Mex. 2010
- GUTOFF EB, COHEN ED .Modern coating and drying technology . Wiley , New York.1992
- GUTOFF EB , COHEN ED. Coating and drying defects: troubleshooting operating problems . Wiley , New York.2007
- GUZMAN, M.A., HEGARTY, E. Method of improving the softness of raisins. United States Patent. 2000
- HAGENMAIER, R.D., y SHAW, P.E. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and (hydroxypropyl) methyl cellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38 .p.1799–1803. 1990
- HAGENMAIER, R., y P. SHAW. Gas permeability of fruit coating waxes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117.p. 105–109. 1992
- HAGENMAIER, R., y P. SHAW. Permeability of shellac coatings to gases and water vapor. p. 825–829. 1990

- HAGENMAIER, R.D., y R.A. BAKER. Citrus fruit with single or layered coatings compared with packinghouse-coated fruit. *p.* 238–240. 1993
- HAGENMAIER RD Y BAKER RA. Edible coatings from morpholine-free wax microemulsions . *J. Agric. Food Chem* , 45.p.349 – 352. 1995
- HAGENMAIER, R.D. Ethanol content of 'Murcott' tangerines harvested at different times and treated with coatings of different O<sub>2</sub> permeability. *Proc Fla State Hort Soc.* 114.p. 170–173. 2001
- HAGENMAIER, R.D., Y P.E. SHAW. Changes in volatile components of stored tangerines and other specialty citrus fruits with different coatings. *J Food Science.* 67.p.1742–1745. 2002
- HAMBLETON, A., FABRA, M.J., DEBEAUFORT, F., DURY-BRUN, C., y Voilley, A. Interface and aroma barrier properties of iota-carrageenan emulsion-based films used for encapsulation of active food compounds. *Journal of Food Engineering* 93.p. 80–88. 2009
- HAMBLETON, A., DEBEAUFORT, F., BENEY, L., KARBOWIAK, T., AND VOILLEY, A., *Biomacromolecules*, 9(3).p.1058–1063, 2008.
- HANDA, A., A. GENNADIOU, G.W. FRONING, N. KURODA, AND M.A. HANNA. Tensile, solubility, and electrophoretic properties of egg white films as affected by surface sulfhydryl groups. *J Food Science.*p.82–85. 1999
- HAN, C., ZHAO, Y., LEONARD, S.W., Y TRABER, M.G. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria×ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology* 33.p.67–78. 2004
- HARGENS-MADSEN, M.R. Use of edible coatings and tocopherols in the control of warmedover flavour. M.S. thesis, University of Nebraska. 1995
- HERALD, T.J., HACHMEISTER, K.A., HUANG, S., BOWERS, J.R. Corn zein packaging materials for cooked turkey. *Journal of Food Science* 61.p.415–417, 421. 1996
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P., ALMENAR, E., OCIO, M.J., y R. GAVARA. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria×ananassa*). *Postharvest Biology and Technology* 39.p.247–253. 2007
- HERNANDEZ-MUNOZ, P., J.M. LAGARON, A. LOPEZ-RUBIO, y R. GAVARA. Gliadins polymerized with cysteine: Effects on the physical and water barrier properties of derived films. *Biomacromolecules* 5.p.1503–1510. 2004
- HERNANDEZ-IZQUIERDO, V.M.; KROCHTA, J.M. Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation- A Review. *Journal of Food Science.*p.30-39. 2008
- HO, B. Water vapor permeability and structural characteristics of casein films and caseinlipid emulsion films. M.S. Thesis, University of California, Davis. 1992

- HOA, T.T., M.N. DUCAMP, M. LEBRUN, Y E.A. BALDWIN. Effect of different coating treatments on the quality of mango fruit. *Journal Food Quality* 25.p.471–486. 2002
- HOFFMAN, K.L., I.Y. HAN, Y P.L. DAWSON. Antimicrobial effects of corn zein films impregnated with nisin, lauric acid, and EDTA. *J Food Protect* 64.p.885–889. 2001
- HOITINK, R., Guex, C., Voisin, I. Breakfast cereals. European Patent Application. 2004
- HOLOWNIA, K.I., CHINNAN, M.S., ERICKSON, M.C., y P. MALLIKARJUNAN. Quality evaluation of edible film-coated chicken strips and frying oils. *Journal of Food Science* 65.p.1087–1090. 2000
- HONG YC , KOELSCH CM , LABUZA TP. Using the L number to predict the efficacy of moisture barrier properties of edible coating materials.p. 45 – 62.1991
- JAGANNATH, J.H., C. NANJAPPA, D. DAS GUPTA, y A.S. BAWA. Studies on the stability of an edible film and its use for the preservation of carrot (*Daucus carota*).p. 498–506. 2006
- JANES, M.E., S. KOOSHESH, y M.G. JOHNSON. Control of *Listeria monocytogenes* on the surface of refrigerated, ready-to-eat chicken coated with edible zein film coatings containing nisin and/or calcium propionate. *J Food Science* 67.p. 2754–2757. 2002
- JEON, Y.J., KAMIL, J.Y.V.A., y F. SHAHIDI. Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50.p. 5167–5178. 2002
- JIANG Y., Li, Y. Effects of chitosan on postharvest life and quality of longan fruit. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.73, pp.139-143. 2001
- JUNG, D ., BODYFELT F. Y DAESCHEL, M. Influence of fat and emulsifiers on the efficacy of Nisin in inhibiting *Listeria Monocytogenes* in fluid milk. *Journaul of Dairy Science*.p 387 -393. 1992
- KARBOWIAK T , HERVET H , LEGER L , CHAMPION D , DEBEAUFORT F. , VOILLEY A. Effect of plasticizers (water and glycerol) on the diffusion of a small molecule in iota-carrageenan biopolymer films for edible coating application . *Biomacromolecules* , 7.p.2011 – 2019.2006
- KAYNAS, K., y I.S. Ozelkok. Effect of Semperfresh on postharvest behavior of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and summer squash (*Cucurbita pepo* L.) fruits. *Acta Horticulturae* 492.p.213–220. 1999
- KAYSERILIOGLU, B.S., W.M. Stevels, W.J. Mulder, and N. Akkas. Mechanical and biochemical characterisation of wheat gluten films as a function of pH and co-solvent. *Starch-Starke* 53.p.381–386. 2001

- KEVERS, C., M. FALKOWSKI, J. TABART, J.-O. DEFRAIGNE, J. DOMMES, y J.L. Pincemail. Evolution of antioxidant capacity. 2007
- KIM DY, KIM HW, CHUNG MG, RHEE YH. REWIEV. Biosynthesis, Modification, and Biodegradation of BacterialMedium-Chain-Length Polyhydroxyalkanoates. The Journal of Microbiology, abril 2007.
- KOBAYASHI, M., KANNO, T., HANADA, K., Y OSANAI, S.I., *Journal of Food Science*, 60.p.205–209, 1995.
- KROCHTA, J.M., MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. En: Food Technology. Vol.51,.p..60-74. 1997
- KROTCHTA, J. M., BALDWIN, E. A., Nisperos-Carriedo, M. Edible coatings and films to improve food quality.Florida, Unite states of America: CRC Press. 1994
- KROCHTA, J.M. Edible protein films and coatings. In Food proteins and their applications in foods. S. Damodaran and A. Paaraf (Eds.), Marcel Dekker, New York, p. 529–549. 1997
- KROCHTA, J.M., y De Mulder-Johnston, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. Food Technology 51.p. 61–74. 1997
- KROCHTA, J.M. Whey protein interactions: effects on edible film properties. In Functional properties of proteins and lipids. J.R. Whitaker, F. Shahidi, A.L. Munguia, R.Y. Yada, and G. Fuller (Eds.), American Chemical Society, Washington, DC, p. 158–167. 1998
- KROCHTA, J.M. Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. In Protein-based films and coatings. A. Gennadios (Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, p. 1–41. 2002
- LACROIX, M., and C. LeTien. Edible films and coatings from non-starch polysaccharides. In Innovation in Food Packaging, ed. J.H. Han, p.338–361. New York: Elsevier Academic Press. 2005
- LAI, H.M., Y G.W. PADUA. Water vapor barrier properties of zein films plasticized with oleic acid. *Cereal Chem* 75.p.194–199.1998
- LANDETA, M.C . Estudio de películas y recubrimientos comestibles y su aplicación en la industria alimentaria. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires y Università degli Studi Di Parma. 2010
- LAOHAKUNJIT, N., y O. KERDCHOECHUEN. Aroma enrichment and the change during storage of non-aromatic milled rice coated with extracted natural flavour. *Food Chemistry* 101:339–344. 2007
- LEE, S., CHOI, J.y WONG, H. Recent advances in polyhydroxyalkanoate production by bacterial fermentation: mini-review. *International Journal of biological macromolecules*, 25. p.31-36. 1999

- LEE, H.; PARK, S.; AHN, D. Effect of storage properties of pork dipped in chitosan solution. 2003
- LE TIEN, C., C. VACHON, M.A. MATEESCU, Y M. LACROIX. Milk protein coatings prevent oxidative browning of apples and potatoes. *J Food Sci* 66.p.512–516. 2001
- LIM, L.T., Y. MINE, Y M.A. TUNG. Transglutaminase cross-linked egg white protein films: tensile properties and oxygen permeability. *p*.4022– 4029. 1998
- LIN D., Y ZHAO Y. 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. p.60–75. 2007
- MANCINI, F.,Y T.H. MCHUGH. Fruit–alginate interactions in novel restructured products. *Nahrung* 44:152–157. 2000
- MARTIN-BELLOSO, O., ROJAS-GRAU, M.A., SOLIVA-FORTUNY, R. . Delivery of flavour and active ingredients using edible films and coatings. In *Edible films and coatings for food applications*, Embuscado, M.E., Huber, K.C. (eds.), Springer Science, New York, p. 295–313. 2009
- MARQUIE, C. Formation and characterization of biodegradable films obtained from cottonseed flour. Ph.D. Dissertation. University of Montpellier, France. 1996
- MARQUIE, C., Y S. GUILBERT. Formation and properties of cottonseed protein films and coatings. In *Protein-based films and coatings*, ed. A. Gen. 2002
- MARTÍNEZ-ROMERO, D., ALBURQUERQUE, N., VALVERDE, J.M., GUILLÉN, F., CASTILLO, S., VALERO, D., y M. Serrano. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe Vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology* 39, p. 93–100. 2006
- MCHUGH, T.H., y J.M. KROCHTA. Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films, p. 307–312. 1994
- MEEPAGALA, K.M., STURTZ, G., WEDGE, D.E. .Antifungal constituents of the essential oil fraction of *Artemisia drancunculus* L. var. *dracunculus*. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.50, p.6989–6992. 2002
- MEI, Y., ZHAO, Y., YANG, J., y H.C. FURR. Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of Food Science* 67, p.1964–1968. 2002
- MENG, X., LI, B.Q., LIU, J., y S.P. TIAN. Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry* 106, p.501–508. 2008
- MICARD, V., y S. Guilbert. Thermal behavior of native and hydrophobized wheat gluten, gliandin and glutenin-rich fractions by modulated , p.229–236. 2000

- MILLER, K.S., Y KROCHTA, J.M., *Trends in Food Science and Technology*, 8, p. 228–237, 1997.
- MILLER, K.S., Upadhyaya, S.K., y Krochta, J.M., *Journal of Food Science*, 63, p. 244–247, 1998.
- MIRANDA PATRICIA S., CÁRDENAS GALO, LÓPEZ DAMIÁN, SAGAHON LARA ALMA V. Comportamiento de películas de quitosán comestibles en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Journal of the Mexican Society*, p.331-336. 2003
- MONCAYO MARTINEZ. Aplicación de una dextrana como recubrimiento comestible en fresa (*Fragaria × ananassa* L). Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Biotecnología, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2007
- MORILLON V, DEBEAUFORT F, BLOND G, CAPELLE M, VOILLEY A. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, 42, p. 67 – 89. 2002
- MORRIS, V.J. Weak and strong polysaccharide gels. In *Food Polymers, Gels and Colloids*, ed. E. Dickinson, 310. London: Royal Society of Chemistry. 1991
- MORRIS, V.J. Bacterial polysaccharides. In *Food Polysaccharides and Their Applications*, eds. A.M. Stephen, G.O. Phillips, and P.A. Williams, p. 413–454. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. 2006
- MUJICA, -PAZ H., y N. Gontard. Oxygen and carbon dioxide permeability of wheat gluten film: Effect of relative humidity and temperature. *J Agric Food Chem* 45, p. 4101–4105. 1997
- NISPEROS-CARRIEDO, M.O., Y E.A. BALDWIN. Edible coatings for fresh fruits and vegetables. Subtropical Technology Conference Proceedings, October 18, Lake Alfred, FL. 1990
- NISPEROS-CARRIEDO, M.O., Baldwin, E.A., y P.E. Shaw. Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 104, p. 122–125. 1991
- NISPERO-CARRIEDO, M.G. Edible coatings and films based on polysaccharides. In *Edible coatings and films to improve food quality*. J.M. Krochta, E.A. Baldwin, and M.G. Nispero-Carriedo (Eds.), Technomic, Lancaster, PA, p. 305–335. 1994
- OJUMO, T., YU, J. y SOLOMON, B. Production of Polyhydroxyalkanoates, a bacterial biodegradable polymer. *African Journal of Biotechnology*, p. 18-24. 2004
- OLIVAS G.I, BARBOSA-Cánovas GV. Edible coating for fresh-cut fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri*, p. 657-670.

- OLIVAS, GI, y BARBOSA-CANOVAS, G. Edible films and coatings for fruits and vegetables. In: Embuscado, ME, and Huber, KC (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Application*. Springer, New York. p. 211–244. 2009
- OLIVAS, G.I., RODRÍGUEZ, J.J., y G.V. BARBOSA-CÁNOVAS. Edible coatings composed of methylcellulose, stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *Journal of Food Processing and Preservation* 27:299–320. 2003
- OLIVAS, G.I., Y G.V. BARBOSA-CÁNOVAS. Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45, p. 657–670. 2005
- OLIVAS, G.I., MATTINSON, D.S., y G.V. BARBOSA-CANOVAS. Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’ apples. *Postharvest Biology and Technology* 45, p. 89–96. 2007
- ONSOYEN, E. Alginate. Production, composition, physicochemical properties, physiological effects, safety, and food applications. In *Handbook of dietary fiber*, Cho, Susan Sungsoo, Dreher, Mark L., (eds.), CRC Press, Boca Raton, FL, p. 659–674. 2001
- ORTUÑO, M.F. Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes. Ediciones Aynaya. 2006
- OSPINA D L, Polihidroxicanoatos. Monografía para optar el título de Especialista en Biotecnología. Biblioteca Efe Gómez, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2003.
- ONSØYEN, E. Alginate. Production, composition, physicochemical properties, physiological effects, safety, and food applications. In *Handbook of dietary fiber*. M.L. Dreher and S.S. Cho, CRC Press, Boca Raton, FL, p. 659–674. 2001
- OU, C.Y., S.F. TSAY, C.H. LAI, y Y.M. WENG. Using gelatin-based antimicrobial edible coating to prolong shelf-life of tilapia fillets. *J Food Quality*, p. 213–222. 2002
- OU, S., Y. WANG, S. TANG, C. HUANG, y M.G. JACKSON. Role of ferulic acid in preparing edible films from soy protein isolate p. 205–210. 2005
- OUATTARA, B., S.F. SABATO, AND M. LACROIX. Combined effect of antimicrobial coating and gamma irradiation on shelf life extension of pre-cooked shrimp (*Penaeus* spp.), p. 1–9. 2001
- OUATTARA, B., SIMARD, R.E., PIETTE, G., BEGIN, A., y R.A. HOLLEY. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology* 62, p.139–148. 2000
- OUSSALAH, M., CAILLET, S., SALMIERI, S., SAUCIER, L., y M. LACROIX. Antimicrobial effects of alginate-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle. *Journal of Food Protection* 69, p. 2364–2369. 2006



- OZDEN, C., Y L. BAYINDIRLI. Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *Eur Food Res Technol.* 214, p.320–326. 2002
- PADUA, G.W., y Q. WANG. Formation and properties of corn zein films and coatings. In *Protein-based films and coatings*, ed. A. Gennadios, p.43–67. Boca Raton, FL: CRC Press. 2002
- PARK, S.Y., MARSH, K.S, RHIM, J.W. Characteristics of different molecular weight chitosan films affected by the type of organic solvents. *Food Engineering and Physical properties*, 67(1), p.194-197. 2002
- PARK H. J., WELLER C. L., Vergano P. J., Testin R. F. Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible materials. *J Food Science* 58, p.1361- 1364-1370. 1993
- PARK H., CHINAN, M. y SHEWFELT, R. Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *Journal of food science*. 1994, p 568-570.
- PARK H.J., CHINNAN M. S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *J Food Eng.* 25, p. 497-507.
- PARK, H.J. Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends Food Sci. Technol.* 10, p. 254–260. 1999
- PARK, S.I., STAN, S.D., DAESCHEL, M.A., AND Y.Y. ZHAO. Antifungal coatings on fresh strawberries (*Fragaria × ananassa*) to control mold growth during cold storage. *Journal of Food Science*. 2005
- PARK, S.K., HETTIARACHCHY, N.S., JU, Z.Y., y GENNADIOS, A.. Formation and properties of soy protein films and coatings. In *Protein-based films and coatings*. A. Gennadios (Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, p. 123–137. 2002
- PARK, S.I., y ZHAO, Y. Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, p.1933–1939. 2004
- PARK, S.I., STAN, S.D., DAESCHEL, M.A., AND ZHAO, Y. Antifungal coatings on fresh strawberries (*Fragaria*×*ananassa*) to control mold growth during storage. *Journal of Food Science* 70, p. 202-207. 2005
- PARRIS, N., AND D.R. Coffin. Composition factors affecting the water vapor permeability and tensile properties of hydrophilic zein films. *J Agric Food Chem* 45, p. 1596–1599. 1997
- PARRIS, N., P.J. VERGANO, L.C. DICKEY, P.H. COOKE, AND J.C. CRAIG. Enzymatic hydrolysis of zein-wax-coated paper. *J Agric Food Chem* 46 ,p. 4056–4059. 2000

- PARZANESE, MAGALI. Tecnologías para la Industria Alimentaria: películas y recubrimientos comestibles ficha n° 7. Alimentos Argentinos – MinAgri Pág. 11 2011.
- PASCAT B. Study of some factors affecting permeability. In: Food packaging and preservation. Theory and Practice. M Mathlouthi Ed. Elsevier Applied Science Pub. London. P. 7-24. 1986
- PASCHOALICK, T.M., F.T. GARCIA, P.J.A. SOBRAL, y A.M.Q.B. Characterization of some functional properties of edible films based on muscle proteins of Nile Tilapia. *Food Hydrocolloid* 17, p.:419–427. 2003
- PASTOR, C., VARGAS, M., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Recubrimientos comestibles: Aplicación a frutas y hortalizas. En: Alimentación, Equipos y Tecnología. Vol.197, p.130-135. 2005
- PEREZ-GAGO, M.B., Y J.M. KROCHTA. Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. *J Agric Food Chem* 49, p.996–1002. 2001
- PEREZ-GAGO M , Krochta J. Drying temperature effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein-lipid emulsion films . *J. Agric. Food Chem.* 48 , , p. 2687 – 2692
- PEREZ-GAGO, M.B., SERRA, M., DEL RIO, M.A. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharv. Biol. Technol.* 39, p. 84–92. 2006
- PEREZ-GAGO MB, KROCHTA JM. Water vapor permeability of whey protein emulsion films as affected by pH . *J. Food Science*, p. 695 – 698. 1999
- PEREZ-GAGO M , Krochta J. Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films . *J. Agric. Food Chem.* 49, p. 996 – 1002. 2001
- PETERSEN, K., V.P. NIELSEN, G. BERTELSEN, M. LAUTHER, M.B. OLSEN, N.H. NILSSON, y G. Mortensen. Potential of biobased materials for food packaging. *Trends Food Sci Tech* 10:52–68 1999.
- PETROU, S.; TSIRAKI, M.; GIATRAKOU, V.; SAVVAIDIS, I. Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat. *Int. J. Food Microbiol.* 156, 264-271. 2012
- PHAN THE, D., Debeaufort, F., Luu, D., Voilley, A. Moisture barrier, wetting and mechanical properties of shellac/agar on shellac/cassava starch bilayer bio-membrane for food applications. *Journal of Membrane Science*, p. 277–283. 2008
- PICULELL, L. Bacterial polysaccharides. In *Food Polysaccharides and Their Applications*, eds. A.M. Stephen, G.O. Phillips, and P.A. Williams, 239–287. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. 2006

- POJANAVARAPHAN, T.; MAGARAPHAN, R.; CHIOU, B-S.; SCHIRALDI, D.A. Development of Biodegradable Foam like Materials Based on Casein and Sodium Montmorillonite Clay. *Biomacromolecules*, 2010, p. 2640-2646
- POMMET, M., A. REDL, M.H. MOREL, y S. GUILBERT. Study of wheat gluten plasticization with fatty acids. *Polymer* 44,p.115–122. 2003
- PRANOTO, Y., RAKSHIT, S.K., SALOKHE, V.M. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT—Food Science and Technology*, 38, p. 859–865. 2005
- QUEZADA-GALLO, J.A., DEBEAUFORT, F., Y VOILLEY, A., *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, p. 108–113, 1999.
- QUINTERO CERÓN Juan Pablo, Víctor Falguera Pascual y José Aldemar Muñoz Hernández. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola, p. 93-118. 2010
- RAMIREZ GIRALDO C.A. La celulosa bacteriana: un mundo de nano posibilidades. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Universitas científica. Colombia. Marzo 2013
- RAO, M.; CHANDER, R.; SHARMA, A. Development of shelf-stable intermediate moisture meat products using active edible chitosan coating and irradiation. *J. Food Science*, p. 325-331. 2005
- REINECCIUS, G. Edible films and coatings for flavour encapsulation. In *Edible films and coatings for food applications*, Embuscado, M.E., Huber, K.C. (eds.), Springer Science, New York, p. 269–294. 2009
- REUTIMANN, E.J., D.V. Valdehra, y E.R. Wedral. 1996. U.S. Patent No. 5,567,453.
- RIDLEY, B.L., O'NEILL, M.A., Y D. MOHNEN. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide- related signaling. *Phytochemistry* 57, p. 929–967. 2001
- RODRIGUEZ OLVERA, M.G. Efecto combinado de atmosferas modificadas y empaques biodegradables y comestibles antimicrobianos en la inocuidad de jamón inoculado con *s. aureus* y *micrococcus luteus*. Facultad de Química, Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro. 2008
- ROJAS-GRAU, M. A., SOLIVA-FORTUNY, R., MARTIN-BELLOSO, O. Empleo de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas: nuevo enfoque de conservación y desarrollo de productos. *Trends in Food Science and Technology*, p. 438 – 447. 2009.
- ROJAS-GRAÜ, M.A., RAYBAUDI-MASSILIA, R.M., SOLIVA-FORTUNY, R.C., AVENA-BUSTILLOS, R.J., MCHUGH, T.H., AND O. MARTÍN-BELLOSO. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology* , p. 254–264. 2007

- ROMERO-BASTIDA, C.A.; ZAMUDIO-FLORES, P.B. y BELLO-PEREZ, L.A.. Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: Efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Rev. Mex. Ing. Quím* [online]. 2011, vol.10, n.3, pp. 445-453. ISSN 1665-2738.
- ROMERO-BASTIDA, C.A., E. FLORES-HUICOCHEA, M.O. MARTIN-POLO, G. VELAZQUEZ, y J.A. Torres. Compositional and moisture content effects on the biodegradability of zein/ethylcellulose films. *J Agric Food Chem* 52:2230–2235. 2004.
- ROUDAUT, G., DACREMONT, C., PAMIES, B.M., COLAS, B., AND M. LE MESTE. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science and Technology* 13.p. 217–227. 2002
- ROY, S., A. GENNADIOS, C.L. WELLER, AND R.F. TESTIN. Water vapor transport parameters of a cast wheat gluten film. 2000
- SANCHEZ-GONZALEZ, L., VARGAS, M., GONZALEZ-MARTINEZ, C., CHIRALT, A., CHAFER, M. Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids*, 23.p . 2102–2109. 2009
- SATHIVEL S. Chitosan and protein coatings affect yield, moisture loss, and lipid oxidation of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fillets during frozen storage. *J Food Sci* 70:E455–E459. 2005
- SAYANJALI. S. BABAK GHANBARZADEH. B. Evaluation of antimicrobial and physical properties of edible film bases on carboxymethyl cellulose containing potassium sorbate on some mycotoxigenic *Aspergillus* species in French pistachios. *Food science and technology*. 44,p 1133-1138.2011
- SCHOU, M., A. LONGARES, C. MONTESINOS-HERRERO, F.J. MONAHAN, D. O'RIORDAN, AND M. O'SULLIVAN. Properties of edible sodium caseinate films and their application as food wrapping. *Lebensm Wiss Technol* 38, p. 605–610. 2005
- SEBTI, I. Y COMA, V. Active edible polysaccharide coating and interactions between solution coating compounds. *Carbohydrate polymers*, p 139-144. 2002.
- SERRANO RIAÑO JY. Polihidroxialcanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. *Revista TEORÍA Y PRAXIS INVESTIGATIVA*, Volumen 5 - No. 2, Julio - Diciembre Centro de Investigación y Desarrollo • CID / Fundación Universitaria de Área Andina. 2010
- SEVILLA CM, RESTREPO LF. Evaluación de un recubrimiento de proteína de suero y quitosano sobre la conservación de banano gross michel (*musa paradisiaca* L.). Trabajo de grado. Ingeniería de alimentos. Santiago de Cali, Valle del cauca. Universidad del Valle. Escuela de ingeniería de alimentos. 2013.

- SEYDIM, A.C., Y G. SARIKUS. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Res Int* 39:639–644. 2006
- SHAW, N.B., F.J. MONAHAN, E.D. O'RIORDAN, y M. O'SULLIVAN. Effect of soya oil and glycerol on physical properties of composite WPI films. *J Food Eng* 51, p.299–304. 2002
- SHELLHAMMER, T.H., y J.M. KROCHTA. Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. *J Food Sci* 62:390–394. 1997
- SHEWFELT, R.L. Measuring quality and maturity, p. 99–124. In: R.L. Shewfelt and S.E. Prussia (eds.). *Post Harvest Handling: A Systems Approach*. Academic Press, New York. 1993
- SHIMONI, E. Nanotechnology for foods: delivery systems. *Global Issues in Food Science and Technology*, p.411–424. 2009
- SIEW, D.C.W., C. HEILMANN, A.J. EASTEAL, Y R.P. COONEY. Solution and film properties of sodium caseinate/glycerol and sodium caseinate/polyethylene glycol edible coating systems, p. 3432–3440. 1999
- SMITH, S.A. Polyethylene, low density. In *The Wiley encyclopedia of packaging technology*, ed. M. Bakker, p. 514–523. New York: John Wiley & Sons. 1986
- SOTHORNVIT, R., y J.M. KROCHTA. Oxygen permeability and mechanical properties of films from hydrolyzed whey protein. *J Agric Food Chem* 48, p.3913– 3916. 2000
- SOTHORNVIT, R., y J.M. Krochta. Plasticizer effect on oxygen permeability of betalactoglobulin ( $\beta$ -Lg) films, p. 6298–6302. 2000
- SOTHORNVIT, R., y Krochta, J.M. Plasticizers in edible films and coatings. In *Innovations in food packaging*. Elsevier Academic Press, San Diego, CA, p. 403–433.
- SRIAMORNSAK, P., y R.A. Kennedy. Development of polysaccharide gel coated pellets for oral administration: swelling and release behavior of calcium pectinate gel. 2007
- SUDESH, K., ABE, H. y Doi, Y. Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters. *Polymer Chemistry Laboratory*, 25, p. 1503-1555. 2000
- SUMNU, G., y L. BAYINDIRLI. Effects of coatings on fruit quality of Amasya apples. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 28, p. 501–505. 1995

- SUYATMA N.E., TINHZERT, L., COPINET, A., COMA, V. Effect of hydrophilic plasticizers on mechanical, thermal, and surface properties of chitosan films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 , p. 3950-3957. 2005
- TANADA-PALMU, P., H. HELEN, y L. HYVONEN. Preparation, properties and applications of wheat gluten edible films. *Agr Food Sci Finland* 9, p. 23–35. 2000
- TAPIA, M.S., ROJAS-GRAÜ, M.A., RODRÍGUEZ, F.J., RAMÍREZ, J., CARMONA, A., AND O. MARTÍN- BELLOSO. Alginate- and gellan-based edible films for probiotic coatings on freshcut fruits. 2007
- THARANATHAN, RN. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trend Food Sci Technol* 14, p. 71–78. 2003
- THEIVENDRAN, S., N.S. HETTIARACHCHY, y M.G. JOHNSON. Inhibition of *Listeria monocytogens* by nisin combined with grape seed extract or green tea extract in soy protein film coated on turkey frankfurters. *J Food Science* 71,p. 39 – 44. 2006
- TOMASULA, P.M., W.C. YEE, Y N. PARRIS. Oxygen permeability of films made from CO<sub>2</sub>- precipitated casein and modified casein. *J Agric Food Chem* 51, p. 634–639. 2003
- TREZZA, T.A., J.L. WILES, Y P.J. VERGANO. Water vapor and oxygen barrier properties of corn zein coated paper. *Tappi J* 81, p. 171–176. 1998
- TROTTER, J.A., K.E. Kadler, y D.F. Holmes. Echinoderm collagen fibrils grow by surface- nucleation and propagation from both centers and ends. *J Mol Biol* 300, p. 531–540. 2000
- TUNC, S., DUMAN, O. Preparation of active antimicrobial methyl cellulose/carvacrol/ montmorillonite nanocomposite film and investigation of carvacrol release. *LWT—Food Science and Technology*, 44,p. 465–472. 2011
- USTUNOL, Z., Y B. MERT. Water solubility, mechanical, barrier, and thermal properties of cross-linked whey protein isolate-based films. *J Food Sci* 69, p. 129-133 2004
- USTUNOL, Z. Edible films and coatings for meat and poultry. In: Embuscado, ME, and Huber, KC (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Application*. Springer, New York. p. 244–268. 2009
- VALENZUELA V.C., ARIAS. I. Potenciales aplicaciones de películas de quitosano en alimentos de origen animal: una revisión. Departamento de Fomento de Producción Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile. Avances en Ciencias Veterinarias V27 N° 1, 2012
- VALVERDE, J.M., VALERO, D., MARTÍNEZ-ROMERO, D., GUILLEN, F., CASTILLO, S., y M SERRANO. Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53,p. 7807–7813. 2005.

- VARGAS, M., ALBORS, A., CHIRALT, A., AND C. GONZALEZ-MARTINEZ. Quality of cold stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology* 41 , p.164–171. 2006
- VARGAS, M, ALBORS, A., CHIRALT, A, GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Application of Chitosan Methylcellulose Edible Coatings to Strawberry Fruit. En: *Proceedings of the IUFOST 2006-13th World Congress of Food Science & Technology*. Food is Life, p.389-390. 2006
- VARGAS, M, ALBORS, A., CHIRALT, A., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings, En: *Postharvest Biology and Technology*. Vol.41(2), pp.164-171. 2005
- VASCONEZ, M., FLORES, S., CAMPOS, C., ALVARADO, J., GERSCHENSON, L. Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*. 42, p. 762 – 769. 2009
- VAZ, C.M., L.A. DE GRAAF, R.L. REIS, AND A.M. CUNHA. Effect of crosslinking, thermal treatment and UV irradiation on the mechanical properties and *in vitro* degradation behavior of several natural proteins aimed to be used in the biomedical field. *J Mater Sci: Mater in Med* 14:789–796. 2003
- WAN, V.C.H., S.K. MOON, y S.Y. LEE. Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolate edible films composed of different plasticizer combinations. *J Food Sci* 70, p.387-391. 2005
- WELLER, C.L., A. GENNADIOS, AND R.A. SARAIVA. Edible bilayer films from zein and grain sorghum wax or carnauba wax. *Lebensm Wiss Technol* 31, p. 279–285. 1998
- WU, Y., RHIM, J.W., WELLER, C.L., HAMOUZ, F., CUPPETT, S., SCHNEPF, M. Moisture loss and lipid oxidation for precooked beef patties stored in edible coatings and films. *Journal of Food Science* 65, p. 300–304. 2000
- WU, Q., Y L. ZHANG. Properties and structure of soy protein isolate-ethylene glycol sheets obtained by compression molding. *Ind Eng Chem Res* 40, p.1879–1883. 2001
- WU, Y., J.W. RHIM, C.L. WELLER, F. HAMOUZ, S. CUPPETT, Y M. SCHNEPF. Moisture loss and lipid oxidation for precooked beef patties stored in edible coatings and films. *J Food Sci* 65,p. 300–304. 2001
- WU Y , WELLER CL , HAMOUZ F , CUPPETT SL y SCHNEPF M. Development and application of multicomponent edible coatings and films. 2002
- WU, Y., WELLER, C.L., HAMOUZ, F., CUPPETT, S., AND M. SCHNEPF. Moisture loss and lipid oxidation for precooked ground-beef patties packaged in edible starch alginate-based composite films. *Journal of Food Science* 66, p. 486–493. 2001

- YAMADA, K., H. TAKAHASHI, y A. NOGUCHI. Improved water resistance in edible zein films and composites for biodegradable food packaging. *Int J Food Sci Technol* 30, p. 599–608. 1995
- YAMAN, O., y L. BAYINDIRLI. Effects of an edible coating, fungicide and cold storage on microbial spoilage of cherries. *European Food Research and Technology* 213, p. 53–55. 2001
- YAMAN, O., y L. BAYINDIRLI. Effects of an edible coating and cold storage on shelf- life and quality of cherries. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 35, p. 146–150. 2002
- YAMAUCHI, K., Y A. KHODA. Novel proteinous microcapsules from wool keratins. *Colloid Surface B* 9:117–119. 1997
- YAMAUCHI, A., Y K. YAMAUCHI. Formation and properties of wool keratin films and coatings. In *Protein-based films and coatings*, ed. A. Gennadios, p. 253–273. Boca Raton, FL: CRC Press. 2002
- YAMAUCHI, N., Y. TOKUHARA, Y. OHYAMA, y M. SHIGYO. Inhibitory effect of sucrose laurate ester on degreening in citrus nagato-yuzukichi fruit during storage. *Postharvest Biol Technol.* 47, p. 333–337. 2008
- YANINI BADENAS, M. Diseño y optimización de recubrimientos comestibles a base de caseinato sódico y/o cálcico, ácido oleico y cera de abeja. Trabajo de grado Ingeniero agrónomo. Valencia, España. Universidad politécnica de valencia. Escuela técnica de ingenieros agrónomos. 2007
- YANG, Y., L. WANG, y S. LI.. Formaldehyde-free zein fiber preparation and investigation. *J Appl Polym Sci* 59:433–441. 1996
- YOSHIDA, C.M.P., y A.J. ANTUNES. Characterization of whey protein emulsion films. *Braz J Chem Eng* 21:247–252. 2004
- YOSHIMARU, T., H. TAKAHASHI, y K. MATSUMOTO. Microencapsulation of L-lysine for improving the balance of amino acids in ruminants. *J Facult Agric Kyushu University* 44:359–365. 2000
- YOSHINO, T., S. ISOBE, Y T. MAEKAWA. Influence of preparation conditions on the physical properties of zein films. 2002
- YOUN, S.; PARK, S.; KIM, Y.; AHN, D. Studies on substitution effect of chitosan against sodium nitrite in pork sausage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33(5), p. 551–559. 2001
- YURDUGUL, S. Preservation of quinces by the combination of an edible coating material, Semperfresh, ascorbic acid and cold storage. *European Food Research and Technology* 220:579–586. 2005



- ZHAO, Y, AND MCDANIEL, M. Sensory quality of foods associated with edible film and coating systems and shelf-life extension. In: Han, JH (Ed.). *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Academic Press, San Diego, CA. pp. 434–453. 2005
- ZAPATA, P.J., F. GUILLEN, D. MARTINEZ-ROMERO, S. CASTILLO, D. VALERO, y M. SERRANO. Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *J Sci Food Agric*. 88, p.1287–1293. 2008
- ZHANG, D., QUANTICK, P.C. Antifungal effects of chitosan coating on fresh strawberries and raspberries during storage. En: *Journal of Horticulture Science Biotechnology*. Vol.73, p.763-767. 1998
- ZHANG, Y., HAN, J.H. Sorption isotherm and plasticization effect of moisture and plasticizers in pea starch film. *Journal of Food Science*, 73, p. 313–324. 2008
- ZHUANG, R., BEUCHAT, L.R., CHINNAN, M.S., SHEWFELT, R.L., y HUANG, Y.W. Inactivation of Salmonella Montevideo on tomatoes by applying cellulose-based films. *Journal of Food Protection* 59:808–812. 1996
- ZOBEL, H.F., y A.M. STEPHEN. Starch: structure, analysis, and application. In *Food Polysaccharides and Their Applications*, eds. A.M. Stephen, G.O. Phillips, and P.A. Williams, 25–85. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. 2006