

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A
BASE DE MUCÍLAGOS, QUITOSÁN Y PULULANO EN LA CALIDAD Y VIDA
DE ANAQUEL DE LA PIÑA FRESCA CORTADA**

POR:

MC. MAYRA ZULEMA TREVIÑO GARZA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA**

DICIEMBRE, 2016

APROBACIÓN DE TESIS DE DOCTORADO POR COMITÉ

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A
BASE DE MUCÍLAGOS, QUITOSÁN Y PULULANO EN LA CALIDAD Y VIDA
DE ANAQUEL DE LA PIÑA FRESCA CORTADA**



DRA. KATIUSHKA ARÉVALO NIÑO

DIRECTOR



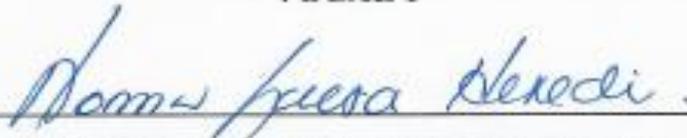
DR. LUIS J. GALÁN WONG

SECRETARIO



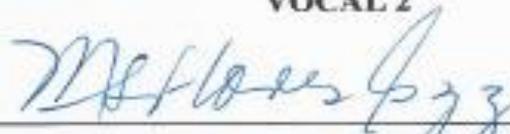
DRA. MA. GUADALUPE ALANÍS GUZMÁN

VOCAL 1



DR. NORMA LAURA HEREDIA ROJAS

VOCAL 2



DRA. MA. SOCORRO FLORES GONZÁLEZ

VOCAL 3

DEDICATORIA

A mi familia...

*A mi esposo **Ricardo Ruiz**, gracias por apoyarme y estar conmigo cuando lo he necesitado, por ser esa persona especial que hace inolvidable cada momento que compartimos, por darme esa paz y tranquilidad. Porque sin tu apoyo esto no hubiera sido posible. Te amo.*

*A mis papás **Eleazar Treviño** y **Sulema Garza**, por haberme guiado por el camino correcto, por estar siempre que los he necesitado, por su esfuerzo, sacrificios, consejos, apoyo y comprensión. Por haberme dado la oportunidad de ser quien soy ahora, porque sin su apoyo no lo hubiera logrado.*

*A mi hermana **Cynthia Treviño**, a **Carlos Perales** y a mi sobrino **Carlos P. Treviño**, por hacer tan especial esta familia.*

*A mis amigos, mis hermanitos del alma, **Fernanda Thompson**, **José Manuel Vázquez**, **Sarahí Chapa**, **Juan Manuel Rodríguez** y **Elio Durán**, por haber sido una parte tan importante en mi vida profesional y personal, por su amistad de tantos años, sin importar el tiempo o la distancia.*

Los quiero mucho...

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por siempre estar conmigo, porque he aprendido mucho, porque en los momentos más difíciles me has ayudado a seguir adelante, porque sé que siempre estarás para mí. Te amo.

A la Dra. Katiushka Arévalo Niño, por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por brindarme su apoyo y confianza durante todos estos años.

Al Dr. J. Santos García por sus consejos y enseñanzas, por darse el tiempo de ayudarme, por su valioso apoyo para poder lograr las publicaciones científicas.

Al Departamento de Alimentos, a la Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán y al Dr. Carlos Leonel García Díaz, porque me han abierto las puertas siempre que lo he necesitado. A la LCA. Alma E. Mora Zúñiga, por tu amistad, por tus consejos y sugerencias, por hacerme sentir como en casa y porque siempre me brindas tu ayuda.

A mis niñas, Lulú Chávez, Sayra Yañez y Ruth Correa, por hacer más fácil y divertido el camino para llegar a esta meta, por su amistad, por sus risas y por todos los momentos compartidos... Las quiero mucho.

A mis amigos y compañeros; Marcela de León, Omar Tovar, Eugenia Ortiz, Julián Zaragoza, Kenia Moya, Mauro Rodríguez, Miguel Ortiz, Héctor López, Augusto Álvarez, Orlando de León y Manuel Pinal, gracias por su amistad y por el tiempo que hemos compartido.

A CONACYT por la beca otorgada durante mis estudios de posgrado.

A todos los que de alguna u otra manera apoyaron para la realización de este proyecto. Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Fruta procesada	3
2.1.2 Empresas productoras de fruta fresca cortada	4
2.2 Piña (<i>Ananas comosus</i>)	5
2.2.1 Descripción	5
2.2.2 Clima	5
2.2.3 Siembra	5
2.2.4 Cosecha	6
2.2.5 Producción	6
2.2.6 Usos	6
2.3 Problemática de la fruta fresca cortada	7
2.3.1 Parámetros fisicoquímicos	7
2.3.2 Parámetros microbiológicos	7
2.3.2.1 Microorganismos patógenos (<i>L. monocytogenes</i> , <i>S. typhi</i> , <i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i>)	8
2.3.3 Parámetros sensoriales	10
2.4 Recubrimientos comestibles	10
2.4.1 Materiales empleados para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles	11
2.4.1.1 Proteínas	11
2.4.1.2 Lípidos	12
2.4.1.3 Polisacáridos	12
2.4.1.3.1 Quitosán	12
2.4.1.3.2 Pullulano	13
2.4.1.3.3 Mucílagos (linaza, nopal y sábila)	13
2.4.1.4 Plastificantes	14
2.5 Compuestos activos	15

2.6 Estudios de recubrimientos comestibles a base de mucílagos	15
2.7 Recubrimientos comestibles en fruta cortada	19
2.8 Recubrimientos comestibles en piña fresca cortada	22
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. HIPÓTESIS	28
5. OBJETIVOS	29
5.1 Objetivo general	29
5.2 Objetivos particulares	29
6. MATERIAL Y MÉTODOS	30
6.1 Plantas y semillas	30
6.1.1 Extracción de mucílagos	30
6.1.1.1 Mucílago de nopal	30
6.1.1.2 Mucílago de linaza	30
6.1.1.3 Mucílago de sábila	31
6.1.2 Caracterización de los mucílagos	31
6.1.3 Espectrofotometría de infrarrojo (FTIR)	31
6.2 Materia prima para la elaboración de soluciones formadoras de recubrimiento	32
6.2.1 Elaboración de las soluciones formadoras de recubrimientos	32
6.2.2 pH, viscosidad y opacidad de las soluciones formadoras de recubrimiento	32
6.2.3 Actividad antimicrobiana de las soluciones formadoras de recubrimiento	33
6.3 Selección de la piña	33
6.3.1 Recubrimiento de la piña fresca cortada por el método capa por capa	34
6.4 Análisis fisicoquímicos	36
6.4.1 Pérdida de peso	36
6.4.2 Determinación de color	36
6.4.3 Firmeza	36
6.4.4 Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y pH	36

6.4.5 Contenido de ácido ascórbico (vitamina C)	37
6.5 Análisis microbiológico	37
6.5.1 Mesófilos aerobios	38
6.5.2 Psicrótrofos	38
6.5.3 Hongos y levaduras	38
6.6 Desarrollo de microorganismos patógenos	39
6.7 Evaluación sensorial	40
6.7.1 Índice de decaimiento	40
6.8 Análisis estadístico	41
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
7.1 Rendimientos de los mucílago	42
7.1.2 Caracterización bromatológica de los mucílago	43
7.1.3 Espectrofotometría de infrarrojo (FTIR) de los polímeros	45
7.2 Elaboración de las soluciones formadoras de recubrimiento	49
7.2.2 pH, viscosidad y opacidad de las soluciones formadoras de recubrimiento	49
7.2.3 Actividad antimicrobiana de las soluciones formadoras de recubrimiento	51
7.3 Recubrimiento de piña fresca cortada	56
7.4 Estudio de vida de anaquel y calidad en piña fresca cortada	56
7.4.1 Análisis fisicoquímicos	56
7.4.1.1 Pérdida de peso, firmeza y color	56
7.4.1.2 Sólidos solubles totales, acidez, pH y Vitamina C	61
7.4.2 Análisis microbiológico	65
7.4.2.1 Recuento de mesófilos aerobios totales, hongos, levaduras y psicrótrofos	65
7.4.2.2 Desarrollo de microorganismos patógenos	67
7.4.3 Evaluaciones sensoriales	71
7.4.3.1 Color, olor, sabor, textura, índice de decaimiento y aceptación general	71

8. CONCLUSIONES	78
9. RECOMENDACIONES	80
10. BIBLIOGRAFÍA	81
11. ANEXO	93
12. RESUMEN BIOGRÁFICO	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINAS
1. Piña ‘miel’ utilizadas en el estudio	33
2. Procesado de la fruta y técnica de recubrimiento capa por capa	35
3. a) Piña ‘miel’, b) rebanado de fruta, c) corte de fruta en trozos, d) soluciones formadoras de recubrimiento e) escurrimiento de la piña fresca cortada recubierta y f) almacenado en refrigeración	35
4. Fruta fresca cortada inoculada con microorganismos patógenos.	39
5. Panelista realizando las evaluaciones sensoriales de la fruta fresca cortada con y sin recubrimiento.	40
6. Foto de mucílagos; a) linaza y b) nopal en polvo	42
7. Mucílago de sábila extraído directamente de la parte interna de la hoja.	43
8. Rendimiento (g/100g) de mucílagos obtenidos de la semilla de linaza, sábila y nopal.	43
9. Espectros FTIR de a) mucílago de linaza, b) mucílago de nopal y c) mucílago de sábila.	47
10. Espectros FTIR del quitosán.	48
11. Espectros FTIR del pululano.	48
12. Soluciones formadoras de recubrimiento a base de Q, PU, ML, MN y MS.	49
13. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra <i>L. monocytogenes</i> .	54
14. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra <i>S. typhi</i> .	54
15. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra <i>S. aureus</i> .	55
16. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra <i>E. coli</i> .	55

17. Piña fresca cortada: a) control y recubierta con b) QPU, c) QML, d) QMN y e) QMS	56
18. Pérdida de peso de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C	57
19. Firmeza de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	59
20. SST de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	62
21. Acidez de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	62
22. pH de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	64
23. Vitamina C de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	64
24. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de <i>L. monocytogenes</i> en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.	69
25. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de <i>S. typhi</i> en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.	69
26. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de <i>S. aureus</i> en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.	70
27. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de <i>E. coli</i> en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.	70
28. Color sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	72
29. Olor de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.	72
30. Sabor de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días	73

de almacenamiento a 4 °C.

- | | |
|---|----|
| 31. Textura de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 74 |
| 32. Índice de decaimiento de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 75 |
| 33. Aceptación sensorial general de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 76 |
| 34. Piña fresca cortada recubierta y control, almacenada durante 6, 9, 12, 15 y 18 días a 4 °C. | 77 |
| 35. Color sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 95 |
| 36. Olor sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 95 |
| 37. Sabor sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 96 |
| 38. Textura sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 96 |
| 39. Aceptación sensorial general de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 97 |
| 40. Índice de decaimiento general de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C. | 97 |

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINAS
1. Empresas dedicadas a la producción de fruta fresca cortada.	4
2. Caracterización bromatológica de los mucílagos	31
3. Análisis bromatológico de los mucílagos	45
4. Análisis fisicoquímico de las soluciones formadoras de recubrimiento	51
5. Actividad antimicrobiana de las SFR contra patógenos transmitidos por alimentos.	52
6. Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en el color de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.	60
7. Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en desarrollo microbiano de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.	67
8. Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en los parámetros físicos de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.	93
9. Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en los parámetros químicos de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.	94

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
ACP	Agar para cuenta en placa
AICC	Agar infusion cerebro corazón
ANOVA	Análisis de varianza
AOAC	Asociación Oficial de Análisis Químicos
AT	Acidez titulable
CICC	Caldo infusion cerebro corazón
CIELAB	Coordenadas de color
CO ₂	Bióxido de carbono
cm	Centímetro
Cp	Centipoise
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Organización para la Alimentación y la Agricultura
FAOSTAT	División de estadísticas de la FAO
FDA	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FTIR	Espectrofotometría de infrarrojo por transformadas de Fourier
g	Gramos
h	Hora
Ha	Hectárea
HR	Humedad relativa
IDC	Índice de decaimiento
IFPA	Asociación Internacional de Productores de Alimentos Frescos Cortados
kg	Kilogramo
log	Logaritmo
Meq	Miliequivalentes
mg	Miligramos

min	Minutos
mm	Milímetro
mL	Mililitro
MN	Mucílago de nopal
ML	Mucílago de linaza
MS	Mucílago de sábila
N	Normalidad
N	Newton
NaCl	Cloruro de sodio
NaOH	Hidóxido de sodio
O ₂	Oxígeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
PDA	Agar papa dextrosa
PET	Polietileno tereftalato
pH	Potencial de hidrógeno
POD	Peroxidasa
PPO	Polifenol oxidasa
RC	Recubrimiento comestible
RPM	Revoluciones por minuto
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SST	Sólidos solubles totales
Ton	Toneladas
UFC	Unidades formadoras de colonia
XLD	Agar desoxicolato xilosa lisina
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
°Brix	Grados Brix

RESUMEN

La producción y el consumo de alimentos frescos mínimamente procesados se ha incrementado recientemente debido a la demanda de los consumidores. Sin embargo, la producción y distribución de fruta fresca cortada se ha limitado, ya que son productos altamente perecederos. La piña (*Ananas comosus*) es una de las frutas tropicales más populares y la piña fresca cortada se encuentra con frecuencia en muchos supermercados y cadenas de servicio de alimentos. En este estudio, se aplicaron recubrimientos comestibles (RCs) a base de quitosán (Q), pululano (PU) y mucílagos de linaza (ML), nopal (NM) y sábila (AM) para mejorar la calidad e incrementar la vida de anaquel de la piña fresca cortada. Primeramente, las piñas se lavaron, desinfectaron, secaron y cortaron en cubos de 2 cm por lado. La fruta fresca cortada se recubrió por inmersión utilizando cuatro tratamientos (QPU, QML, QMN y QMS), se envaso en recipientes de polietileno tereftalato (1 kg) y se almacenó a 4 °C durante 18 días. Como control se utilizó fruta sin recubrimiento. La aplicación de los RCs capa por capa disminuyó ($P < 0.05$) la pérdida de peso (13.78 – 29.96 %), el ablandamiento de la piña (68.94 – 97.73 %) y retrasó los cambios en el contenido de sólidos solubles totales y color (L^* y a^*). El RC de QMS disminuyó ($P < 0.05$) la degradación de ácido ascórbico (29.96 %). Por el contrario, los RCs no afectaron la acidez total (0.42 – 0.49 g/100 g de ácido cítrico; $P > 0.05$). Los análisis microbiológicos demostraron la eficacia ($P < 0.05$) de los recubrimientos comestibles capa por capa para reducir el desarrollo de microorganismos alteradores (aerobios totales, psicrotrofos, hongos y levaduras) y patógenos transmitidos por alimentos (*L. monocytogenes* y *S. typhi*). El recubrimiento comestible a base de QPU fue el más efectivo en controlar los niveles microbianos. El análisis sensorial demostró que los RCs capa por capa ayudaron a preservar ($P < 0.05$) los parámetros de calidad sensorial (color, olor, sabor, textura y aceptación general). En conclusión, los RCs capa por capa a base de QPU, QML, QMN y QMS mejoraron la calidad e incrementaron la vida de anaquel de la piña fresca cortada de 12 (control) a 18 (frutas tratadas) días.

ABSTRACT

Production of minimally processed fresh foods has increased recently due to consumer demand. However, production and distribution of fresh-cut fruits has been limited because are highly perishable products. Pineapple (*Ananas comosus*) is known as one of the most popular tropical fruits and fresh cut-pineapple is frequently found in many supermarkets and food service chains. In this study, edible coatings (ECs) based on chitosan (CH), pullulan (PU), linseed (LM), nopal cactus (NM) and aloe mucilage (AM) were applied by layer-by-layer technique to improve quality and extend the shelf-life of fresh-cut pineapple. Pineapples were washed, disinfected, dried and cut into 2 cm side cubes. Fresh-cut fruits were coated by dipping using four treatments (CHPU, CHLM, CHNM and CHAM), packed into polyethylene terephthalate containers and stored at 4 °C for 18 days. Uncoated fruits were used as control. Application of layer-by-layer ECs reduced ($P < 0.05$) the weight loss (13.78 – 29.96 %), pineapple softening (68.94 – 97.73 %), and, delayed the alteration of total soluble solids content and color (L^* and a^*). CHAM ECs were effective in delaying ($P < 0.05$) ascorbic acid degradation (29.96 %). In contrast, ECs did not affect titratable acidity (0.42 – 0.49 g/100 g of citric acid; $P > 0.05$). Microbiological analyses demonstrated the effectiveness ($P < 0.05$) of the layer-by-layer ECs against spoilage microorganisms (psychrotrophic, total aerobic, molds and yeasts) and foodborne pathogens growth (*L. monocytogenes* y *S. typhi*). CHPU ECs were the most effective in controlling microbial levels. Sensory analysis demonstrated that layer-by-layer ECs helped to preserve ($P < 0.05$) the quality properties (color, odor, flavor, texture and overall acceptance). In conclusion, layer-by-layer ECs based on CHPU, CHLM, CHNM and CHAM improved quality and extended the shelf-life of fresh-cut pineapple from 12 (control) to 18 (treated fruits) days.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de productos frescos mínimamente procesados se ha incrementado en los últimos años debido a la demanda de los consumidores. Sin embargo, el desarrollo de productos a base de frutas frescas cortadas se ha limitado porque son productos altamente perecederos. Además, las operaciones del procesado, tales como el lavado, desinfección, pelado, cortado, rebanado, trituración y envasado (Corbo et al., 2010) pueden alterar la integridad, seguridad y, disminuir la calidad y la vida útil del producto, limitando aún más su mercado.

La piña (*Ananas comosus*) es una de las frutas tropicales más populares a nivel mundial, y la piña fresca cortada se encuentra con frecuencia en muchos supermercados y cadenas de servicio de alimentos (Montero-Calderón et al., 2008; Azarakhsh et al., 2012; Gabri et al., 2014). Esta fruta es una buena fuente de antioxidantes (compuestos fenólicos y ácido ascórbico) y se caracteriza por su sabor ácido, aroma y jugosidad (Mantilla et al., 2013; Azarakhsh et al., 2012; Montero-Calderón et al., 2008). Sin embargo, la vida de anaquel de la piña fresca cortada es corta (5 – 7 días a 4 °C) debido a que las operaciones del procesamiento dañan la membrana celular (Russo et al., 2014; Gabri et al., 2014; Mantilla et al., 2013), incrementan la actividad metabólica (tasa de respiración, actividad enzimática y producción de etileno) y causan deterioro (ablandamiento de tejidos, pardeamiento, mal sabor, entre otros) (Azarakhsh et al., 2014). Además, el fruto es más susceptible al desarrollo microbiano debido a la ausencia de una “cáscara protectora” y por la adhesión microbiana al tejido de la fruta, el cual contiene nutrientes ideales (vitaminas, minerales, azúcares y otros) para el crecimiento microbiano (Corbo et al., 2010; Mantilla et al., 2013; Gabri et al., 2014; Pasquale Russo et al., 2014).

Los recubrimientos comestibles (RC) se han utilizado como alternativa para la conservación de frutas frescas cortadas (Montero-Calderón et al., 2008). Un RC es una capa delgada de material comestible (proteínas, lípidos, polisacáridos o mezclas de estos) aplicada sobre la superficie de los alimentos, por lo general por inmersión en soluciones líquidas (Campos et al., 2011; Falguera et al., 2011). Estas cubiertas juegan un papel importante en la conservación y algunas de sus funciones son; protección contra daños mecánicos, fisicoquímicos (pérdida de agua, deterioro en la textura, cambios en el

contenido de sólidos solubles y ácidos, pardeamiento enzimático y pérdida de vitamina C, entre otros) y microbiológicos (ayuda a reducir la contaminación y el desarrollo microbiano) (Oms-Oliu et al., 2010; Falguera et al., 2011).

La técnica de recubrimiento de deposición electrostática capa por capa consiste en la inmersión de los alimentos en una serie de soluciones que contienen polielectrolitos cargados opuestamente (Brasil et al., 2012; Sipahi et al., 2013; Mantilla et al., 2013; Arnón et al., 2015). Existen reportes de RC capa por capa en papaya (Brasil et al., 2012.), sandía (Sipahi et al., 2013), piña (Mantilla et al., 2013), melón (Martíñon et al., 2014; Moreira et al., 2014) y cítricos (Arnón et al., 2015). Los materiales frecuentemente utilizados en estos estudios son quitosán, alginato de sodio, pectina, carboximetilcelulosa y, cloruro y lactato de calcio, entre otros.

Existen algunos estudios donde el mucílago de sábila (MS) se ha utilizado como RC en uva (Chauhan et al., 2014), manzana (Song et al., 2013) y kiwi (Benítez et al., 2015), entre otros. Por otro lado, el mucílago de nopal (NM) ha sido utilizado como RC en fresa (Del-Valle 2004) y el mucílago de linaza (ML) en melón fresco cortado (Correa-Cerón, 2015). Sin embargo, el efecto de RCs capa por capa a base de quitosán y mucílagos no ha sido reportado. Además, como se mencionó anteriormente, la técnica capa por capa se basa en el uso de polielectrolitos con cargas opuestas que se unen física y químicamente entre sí (Sipahi et al., 2013), por lo tanto, tampoco se ha evaluado el uso de polímeros no iónicos como el pululano.

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de RC a base de quitosán, pululano, mucílagos de linaza, nopal y sábila en la calidad y vida de anaquel de la piña fresca cortada.

2. ANTECEDENTES

2.1 Fruta procesada

El consumo de frutas y vegetales frescos cortados se ha incrementado principalmente en EUA y en países Europeos. La fruta fresca procesada es aquella que ha sido alterada físicamente (pelada, cortada, lavada y rebanada) para obtener productos listos para el consumo, pero permaneciendo en su estado in natura, es decir sin tratamientos severos alterantes de sus características intrínsecas (Salinas-Hernández et al., 2007). Las hortalizas frescas son las que dominan el mercado, entre las más importantes destacan; la lechuga cortada, espinacas, acelgas y mezclas de ensaladas. La introducción de fruta ha sido más lenta por tratarse de productos altamente perecederos, sin embargo, entre la fruta fresca cortada de venta en el mercado destacan; la pera, manzana, melón, sandía, kiwi, mango, mandarina, uva y piña fresca cortada, entre otras. En EUA, la participación del mercado de frutas frescas cortadas incluye productos cortados como la sandía, melón, piña y mezclas de frutas, principalmente (Montero et al., 2010).

De acuerdo a la Asociación Internacional de Productores de Alimentos Frescos Cortados (IFPA, International Fresh-cut Produce Association), las ventas de productos frescos cortados se incrementaron de \$5 billones de dólares (1994) a \$12 billones de dólares en la actualidad (incluyendo ventas al por menor y de cadenas de servicios de alimentos), con un crecimiento anual de 10 – 15 % en los siguientes años. Lo anterior se debe principalmente al aumento de los hogares unipersonales, aumento de la población de ingresos medios, menos tiempo para preparar los alimentos, mayor demanda de alimentos frescos, aumento de las ventas de productos listos para consumo y debido al aumento de las operaciones de comida rápida (James, 2010). En México e Iberoamérica, el mercado de frutas y vegetales cortados está enfocado principalmente a productos frescos (74.4 %), productos congelados (15.6 %), productos colados y picados (6.1 %), deshidratados (3.0 %), ensaladas preparadas (0.6 %) y otros productos (0.2) (Mercado, 2006).

2.1.2 Empresas productoras de fruta fresca cortada

Debido a la demandas de los consumidores, cada vez es existen más empresas dedicadas a la elaboración de productos frescos cortados (frutas y vegetales). En la Tabla 1 se muestra la lista de algunas empresas productoras de fruta fresca cortada en EUA y en México. Entre las empresas productoras de EUA se encuentran; Wal-Mart Stores, Inc., Fresh Del Monte Produce Inc., Ready Pac Foods®, Ingeo™ natural packaging, entre otras. Entre las empresas mexicanas se encuentran CONCANMEX S.A. de C.V. y Food solutions S.A. de C.V. Dedicadas principalmente a la elaboración de fruta fresca cortada como melón, fresa, uvas, kiwi, papaya, pera, mango, naranja, sandía y piña.

Tabla 1. Empresas dedicadas a la producción de fruta fresca cortada.

Fresh Del Monte Produce Inc.	OBIM
Wal-Mart Stores, Inc.	Kegel's Produce
Marketside, Walmart stores, Inc.	Blue Skies
Sliced FC, Fresh Direct Foods Ltd.	Cut Fruit Express
International Food Partners Limited	HPW
Loffredo Fresh produce Co., Inc.	Fit Fresh LLC
Nino's Fresh cut fruit and veg.	Simply Fresh Fruit
Ingeo™ natural packaging	Garden Cut®
F&S Produce Co., Inc.	Dole®
Pacific coast	Aunt Mid's
Indianapolis fruits	Davin Foods
Garden Cut	Amber Foods
Ready Pac Foods®	Ford's Produce Co.
Sobeys	Apio, Inc.
Castellini	East Coast Fresh
Sunrise Produce Co.	Crunch Pak
Liberty Fruit Co.	Reichel Foods, Inc.™
DNO Inc.	Prime Time International
SunRich	*Food Solutions S.A. de C.V.
Markon	*COCANMEX S.A. De C.V.

*Empresas Mexicanas

2.2 Piña (*Ananas comosus*)

La piña es una fruta tropical consumida en todo el mundo y es caracterizada por su forma cilíndrica, con cascara de color amarillo-naranja y pulpa de color amarillo claro, compacta y fibrosa (Montero-Calderón et al., 2008). Entre los atributos de esta fruta destacan; su sabor, dulzura/acidez, jugosidad y contenido nutricional (vitamina C, minerales, fibra y antioxidantes) (Montero-Calderón et al., 2008; Liu et al., 2014).

2.2.1 Descripción

La planta es perteneciente a la familia de las bromeliáceas, con flores caracterizadas por unas escamas foliares exclusivas que tienen la propiedad de retener agua, y por flores regulares de tres piezas. Las hojas son unas vainas o láminas dispuestas en espiral, por lo general en capas, el embrión de la planta tiene una sola hoja o cotiledón, se encuentran en un número de 70 a 80 hojas por plantas, los bordes de éstas pueden estar provistas de espinas o libres de éstas según la variedad (SAGARPA, 2012).

2.2.2 Clima

El crecimiento de las raíces y las hojas es prácticamente nulo a temperaturas menores de 21 °C y a mayor de 35 °C, el máximo crecimiento se da entre los 30 y 31 °C, el mejor desarrollo de la planta se obtiene donde la temperatura anual está entre los 24 y 27 °C. El cultivo de la piña requiere de suelos de buen drenaje, permeable suelo franco limosos, y con pH de 5 a 6, debe evitarse la siembra en suelos arcillosos, de mala estructura y pobre drenaje (SAGARPA, 2012).

2.2.3 Siembra

Este cultivo se puede sembrar todo el año siempre y cuando se cuente con un sistema de riego. Debe seleccionarse la semilla por tamaño y tipo, para uniformizar cada área de cultivo, debe sembrarse a una profundidad adecuada de modo que al crecer y

fructificar no se vaya a volcar por el peso de la fruta y el efecto del viento, debe de usarse una espátula que permita profundizar el hijuelo (SAGARPA, 2012).

2.2.4 Cosecha

La cosecha se realiza en forma manual; a la fruta se le da un giro para desprenderla del pedúnculo; también se cosechan cortando por la base con un cuchillo. La fruta se debe manipular con delicadeza en toda la labor de cosecha y transporte, para evitar magulladuras o golpes. Es preciso conocer el período que transcurre entre la inducción de la floración y la cosecha. A partir de 140 días (4.5 meses) de realizado la inducción floral, se debe estar alerta y hacer inspecciones a fin de observar el estado de desarrollo, el tamaño y el grado de madurez alcanzado por la fruta (SAGARPA, 2012).

2.2.5 Producción

La producción de piña es muy importante a nivel mundial [26, 554,624 Ton, con un valor de 5, 956,044 (Int \$1000)]. El principal productor es Tailandia con 2, 209,351 Ton. México produce aproximadamente 771,942 Ton por año (Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Nayarit, Jalisco y Quintana Roo son los principales productores), mientras que EUA produce 170,979 Ton. (FAOSTAT, 2013; SAGARPA, 2013).

2.2.6 Usos

La piña es generalmente consumida fresca, en trozos y rebanadas, en postres o como jugo. Además, se aplica en la elaboración de conservas de frutas, mermeladas, jaleas, vinos y concentrados de zumo. Por otra parte, la fruta y su jugo se utilizan como ingredientes en alimentos, tales como pizzas, pasteles y helados, entre otros (Liu et al., 2014). La cáscara se puede utilizar para hacer vinagre (SAGARPA, 2012).

2.3 Problemática de la fruta fresca cortada

La fruta fresca cortada es altamente perecedera y se caracterizan por un metabolismo muy activo, determinante en su pérdida de calidad. Los cambios importantes que ocurren en la fruta fresca cortada durante su procesamiento, almacenamiento y distribución son evidenciados en sus parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales.

2.3.1 Parámetros fisicoquímicos

Los principales cambios fisicoquímicos ocurridos en la fruta fresca cortada son la pérdida de agua, peso y cambios en la textura (ablandamiento del tejido), variación en el contenido de sólidos solubles y ácidos (incremento en el contenido de azúcares simples y disminución de ácidos orgánicos, relacionados con el proceso de maduración), degradación de la vitamina C (hasta en un 50 %, tan solo en los procesos de pelado y cortado), cambios de color como consecuencia del pardeamiento oxidativo y oscurecimiento enzimático (acción de polifenol oxidasa o PPO) (Salinas-Hernández et al., 2007).

2.3.2 Parámetros microbiológicos

Al aumentar la cantidad de microorganismos en los alimentos se inician los procesos metabólicos que van a degradar el alimento (Medina, 2006). La fruta fresca cortada es altamente susceptible al deterioro microbiano [microorganismos alteradores tales como mesófilos aerobios (utilizados para evaluar la calidad sanitaria e indicadores de la vida útil del producto), hongos (causan alteración de los alimentos por modificaciones enzimáticas, transformación física y organoléptica), levaduras (ocasionan turbidez o formación de películas en la superficie, disminución de pH, cambios en aromas, entre otros) y psicrótrofos] debido a la ausencia de una “cáscara protectora” lo cual facilita la adhesión microbiana a los tejidos, que contienen nutrientes (vitaminas, minerales, azúcares et al.) para el desarrollo microbiano (Mantilla et al, 2013; Corbo et al, 2010;

Gabri et al, 2014; Russo et al, 2014). Además, en las etapas del procesado (pelado, cortado, reducción de tamaño, lavado y envasado) podría ocurrir contaminación cruzada con microorganismos alteradores (ej. por mal saneamiento de la fruta entera) y patógenos (Oms-Oliu et al., 2010; Medina, 2006).

Algunos microorganismos presentes como flora normal en frutas son; bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Erwinia* *Enterobacter* y *Lactobacillus* spp, hongos de los géneros *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Eurotium* y *Wallemia*, y levaduras de los géneros *Saccharomyces*, *Zygosaccharomyces*, *Hanseniaspora*, *Candida*, *Debaromyces* y *Pichia* (Corbos et al., 2010). Entre los microorganismos patógenos que pueden contaminar las frutas se encuentran; *L. monocytogenes*, *Salmonella*, *S. aureus*, *E. coli* 0157:H7, *Enterobacter*, *Shigella*, *B. cereus*, *Campylobacter* spp., *Y. enterocolitica* y *C. botulinum*, entre otros (Corbos et al., 2010).

2.3.2.1 Microorganismos patógenos

Los microorganismos patógenos puede desarrollarse en fruta como melón, pera, manzana (Oliveira et al., 2014), duraznos (Alegre et al., 2010), sandía, papaya (Penteado et al., 2004) y piña (Russo et al., 2014).

L. monocytogenes es una bacteria gram-positiva que causa listeriosis, una enfermedad grave en las mujeres embarazadas, ancianos y personas con sistemas inmunológicos debilitados (FAO et al., 2010). Este patógeno puede desarrollarse en un amplio rango de temperaturas (-1,5 a 45 – 50 °C) y rangos de pH (4.3 a 9.6), puede sobrevivir en temperaturas de congelación, y son relativamente resistentes al calor (García y Heredia, 2009). La bacteria está generalizada en el medio ambiente y se ha aislado a partir del tracto intestinal de los animales domésticos y seres humanos, a partir de los productos crudos y de lugares de procesamiento de alimentos frescos en particular en zonas húmedas. Puede sobrevivir y crecer a temperatura ambiente y en condiciones de refrigeración. La supervivencia del microorganismo es debido a la formación de una biopelículas en las superficies y entornos de procesamiento de alimentos, sobre todo en los desagües. También puede ser transmitida por aerosoles y estar presente en manos de

los trabajadores. Se ha aislado de productos vegetales mixtos, lechuga, pepino en rodajas, tomate y frutas como el melón (FAO, 2010). Además se ha reportado su desarrollo en durazno (Alegre et al., 2010), sandía, papaya (Petentado et al., 2004) y piña (Russo et al., 2014). Finalmente, este microorganismo se ha implicado en brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en todo el mundo (FAO, 2010).

Salmonella es una bacteria gram-negativa mesófila, con un rápido crecimiento entre 25 y 43 °C, aunque por lo general es sensible a temperaturas superiores a 55 °C. Este microorganismo crece activamente en el rango de pH 3.6 a 9.5 y de forma óptima a valores de pH casi neutro (García y Heredia, 2009). Es una causa común de enfermedades transmitidas por alimentos (salmonelosis) y es responsable de millones de casos de enfermedad cada año. Los productos frescos pueden ser contaminados a través del contacto con las aguas residuales y el agua contaminada o por medio de la manipulación por los trabajadores infectados. No crece en los alimentos almacenados a temperaturas inferiores a 7 °C. No representan un riesgo para la salud pública en los productos recién cortados, siempre que éstos los productos se mantienen en o por debajo de 7 °C. Sin embargo es importante el monitoreo de este microorganismo en alimentos manipulados (FAO, 2010; OMS 2013). Se ha reportado el desarrollo de este microorganismo en alimentos mínimamente procesados como el durazno (Alegre et al., 2010).

S. aureus es una bacteria gram positiva que crece a temperaturas de 7 – 47.8 °C, con una temperatura óptima de 35 °C. El intervalo de pH para el crecimiento es de entre 4.5 y 9.3, con el óptimo entre pH 7.0 y 7.5. Este microorganismo produce enterotoxinas, que son agentes eméticos potentes, que son de alto riesgo para la salud de los consumidores. Este microorganismo está implicado en enfermedades transmitidas por alimentos y se ha encontrado en una amplia variedad de alimentos (carne, pollo, productos de huevo, atún, ensaladas y alimentos listos para consumo, entre otros), los cuales pueden contaminarse durante el proceso de elaboración (García y Heredia, 2009).

E. coli es una bacteria gram-negativa, anaerobia facultativa, presente como microflora intestinal en humanos y animales. Este microorganismo puede sobrevivir a temperaturas de refrigeración, pudiendo desarrollarse incluso a una temperatura mínima de 6.5 °C. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, sin embargo, algunas son

capaces de causar enfermedades que van desde una diarrea leve hasta severa, o incluso, puede dar lugar a complicaciones potencialmente mortales como el síndrome urémico hemolítico. Este microorganismo se ha encontrado en una gran variedad de alimentos, entre los cuales destacan; verduras, ensalada de frutas, melón, carne, leche, sidra de manzana y zumo de naranja, entre otros (OMS 2011; García y Heredia, 2009). Además se ha reportado que puede sobrevivir en alimentos mínimamente como el durazno y la piña fresca cortada (Alegre et al., 2010; Russo et al., 2014).

2.3.3 Parámetros sensoriales

Los análisis sensoriales son un factor muy importante ya que de esto depende la aceptación o rechazo de un producto (Treviño-Garza et al., 2015). No existe ningún instrumento que pueda reproducir o reemplazar la respuesta humana; por lo tanto, la evaluación sensorial resulta un factor esencial en cualquier estudio sobre alimentos. El análisis sensorial es aplicable en muchos sectores, tales como; desarrollo y mejoramiento de productos, control de calidad, estudios sobre almacenamiento y desarrollo de procesos (Restrepo et al., 2008).

En el caso de las tecnologías para el uso de RC, las propiedades sensoriales son una característica muy importante a evaluar, ya que los materiales utilizados como recubrimientos (proteínas, lípidos y polisacáridos) pueden tener un impacto en los atributos típicos (color, olor, sabor y textura) del producto final (Azarakhsh et al., 2014).

2.4 Recubrimientos comestibles

Un RC consiste en una capa delgada de material comestible que se forma o pre-formado directamente en la superficie del alimento como una cubierta protectora (Sorrentino et al., 2007) y que puede ser consumida como parte del mismo (Sánchez-González et al., 2008). Estos recubrimientos pueden ser aplicados directamente en la superficie del producto por inmersión, con brocha, aspersion o fluidización, entre otros (Falguera et al., 2011).

El envasado (recipiente o recubrimiento) desempeña un papel importante en la conservación, distribución y comercialización de producto alimenticio. Algunas de sus funciones son para proteger el producto (daños mecánicos, físicos, químicos y microbiológicos) (Falguera et al., 2011) y mantener la calidad mediante los siguientes mecanismos:

- Evitando ganancia o pérdida de humedad (que conlleva a la pérdida de peso), que puede provocar una modificación de la textura y de la turgencia.
- Ralentizando cambios químicos (SST, ácidos, procesos oxidativos, pardeamiento enzimático, entre otras) que pueden afectar el color, aroma o valor nutricional del alimento.
- Actuando como barrera al intercambio de gases (reduce la disponibilidad de O₂ e incrementa la concentración de CO₂) que puede influir en gran medida en la estabilidad de los alimentos sensibles a la oxidación de lípidos, vitaminas y pigmentos.
- Mejorando la estabilidad microbiológica (reduciendo el desarrollo de microorganismos alteradores).
- Mejorando o manteniendo los atributos sensoriales.
- Mejorando la integridad mecánica en el caso de las frutas y hortalizas (Sánchez-González et al., 2008).

2.4.1 Materiales empleados para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles

Los RC y películas pueden ser elaborados a base de proteínas lípidos y polisacáridos, como componentes individuales o en combinaciones (Falguera et al., 2011).

2.4.1.1 Proteínas

Se han reportado diferentes tipos de proteínas para la elaboración de este tipo de películas, tales como; proteínas de origen animal (colágeno, gelatinas, caseínas y albuminas o proteínas de suero de leche) y de origen vegetal (gluten de trigo, aislados de

proteína de soya, zeína de maíz) (De Ancos et al., 2015). Los RC elaborados a base de proteínas presentan buenas propiedades de barrera a los gases, sin embargo, presentan menor resistencia al vapor de agua es debido a su naturaleza hidrofílica (Ramos et al., 2010)

2.4.1.2 Lípidos

Compuestos hidrofóbicos (ceras de abejas, candelilla y carnauba, resinas, monoglicéridos como el glicerol, diglicéridos y ácidos grasos tales como el ácido esteárico, palmítico, láurico y oleico, entre otros) que tienen buenas propiedades de barrera a la humedad (Fernández et al., 2015). Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos ya que debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua. Los recubrimientos a base de lípidos presentan limitaciones en las propiedades mecánicas y en ocasiones producen una mala apariencia, sin embargo, en combinación con otros componentes (polisacáridos) pueden formar RC con una mejor estabilidad (Ramos et al., 2010), además pueden mejorar el brillo y el sabor del alimento (Sánchez-González et al., 2008).

2.4.1.3 Polisacáridos

Los RC elaborados a base de polisacáridos han sido los más utilizados en productos hortofrutícolas (Ramos et al., 2010). Los polisacáridos solubles en agua son polímeros de cadena larga que se disuelven o dispersan confiriendo un efecto viscoso (Miranda et al., 2003). Entre los polisacáridos más utilizados estos se encuentran; el almidón, la celulosa y sus derivados, quitosán, pectina, dextrinas, alginatos, carragenina, y recientemente los mucílagos (Miranda, 2003; Fernández et al., 2015; Sánchez-González et al., 2008).

2.4.1.3.1 Quitosán

El quitosán es un polímero catiónico ($\beta(1,4)$ 2-amino-2-D-glucosa), derivado de la quitina (presente en las conchas de los crustáceos). Este compuesto se ha encontrado que

es no tóxico, biofuncional, biodegradable y biocompatible, con propiedades bactericidas y fungicidas (Helander et al, 2001; Li et al, 2006; Chung y Chen et al., 2008). Este polímero ha sido muy utilizado para la elaboración de RC debido por sus excelentes propiedades mecánicas, antimicrobianas y de barrera a los gases. Se ha comprobado que este polímero tiene actividad antiviral, bactericida, y fungicida (Lárez et al., 2008). Además, se ha encontrado que este polímero induce mecanismos de defensa, tales como la producción de fitoalexinas y aumento en la actividad de quitinasas. (Miranda, 2003). Por otro lado, se ha encontrado que el quitosán posee actividad antimicrobiana contra algunos patógenos transmitidos por alimentos tales como *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium* (Liu et al., 2004; Li et al., 2007; Helander et al., 2001; Chung et al., 2008).

2.4.1.3.2 Pullulano

El pullulano es un exopolisacárido producido por producido por *Aureobasidium pullulans*, neutro (no iónico), soluble en agua y no tóxico, formado por unidades de maltotriosa con enlaces α -1, 6-glicosídicos. Además es un excelente agente formador de películas (Eroglu et al., 2014; Leathers et al., 2003). Algunas de las ventajas de este polímero es que forma películas y RC incoloros, sin sabor, con baja permeabilidad al oxígeno y con buenas propiedades de barrera. El pullulano se ha utilizado como RC en fresa (Eroglu et al., 2014; Treviño-Garza et al., 2015) y huevo, para mejorar la calidad e incrementar la vida útil de estos alimentos (Morsy et al., 2015).

2.4.1.3.3 Mucílagos

Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos, formados por diferentes azúcares, en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas (geles en agua). Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas (nopal, sábila y linaza, entre otras) y su uso en el recubrimiento de frutas cortadas no ha sido muy estudiado (Sánchez-González et al., 2008).

El mucílago de linaza es una mezcla de polisacáridos ácidos y neutros. La fracción ácida tiene un esqueleto de ramnogalacturonano aniónico (1→4) unido con residuos de α -D-galacturonopyranosyl y con residuos de α -L-ramnopiranosilo (1 → 2), con residuos de arabinosa y galactosa en las cadenas laterales. La fracción neutra tiene una columna vertebral de residuos de β -D-xilopiranosilo (1 → 4), con arabinosa y galactosa en las cadenas laterales, unidas en las posiciones 2 y/o 3 (Muralikrishna et al., 1987). El ML se ha utilizado en la industria alimentaria como estabilizador y agente espesante, entre otras aplicaciones (Kaewmanee et al., 2014). Sin embargo, este polímero no se ha explorado todavía como RC.

El mucílago de *Opuntia ficus* se obtiene de las pencas del nopal. El MN es un polisacárido complejo (aniónico), que consiste en residuos alternados de ácido galacturónico (1 → 2) unidos a residuos de ramnosa (1 → 4) con ramificaciones en C4. Las ramificaciones son residuos de galactosa ligados a xilosa y arabinosa como sustituyentes (McGarvie y Parolis 1981a, b). El NM ha sido utilizado como RC en fresa (Del-Valle 2004).

El mucílago de sábila es una sustancia incolora delgada obtenida de la parte interna de las hojas (Pandey et al., 2010). El MS está compuesto por 99.5 % de agua y 0.5 % de sólidos, tales como; proteínas, lípidos, aminoácidos, vitaminas, enzimas, compuestos inorgánicos y orgánicos, y polisacáridos como acemanano (neutro) y sustancias pécticas (aniónicos) (Avachat et al., 2011; Escobedo-Lozano et al., 2014; Benítez et al., 2015). Estos compuestos poseen propiedades antibacterianas, antivirales, antifúngicas y antioxidantes, entre otras (Pandey et al., 2010; Chauhan et al., 2014; Escobedo-Lozano et al., 2014). El MS se ha utilizado como RC en uva (Chauhan et al., 2014), manzana (Hye-Yeon et al., 2013) y kiwi (Benítez et al., 2015), entre otros.

2.4.1.4 Plastificantes

Los plastificantes son componentes que se añaden a las soluciones formadoras de recubrimientos para disminuir la fragilidad e incrementar la flexibilidad de los mismos. En general, la función de estos componentes es disminuir las interacciones y aumentar la movilidad de la cadena del polímero (espaciamiento intermolecular). La adición de los

plastificantes influye directamente en las propiedades de los RC (resistencia mecánica y propiedades de barrera). Entre los más utilizados para la elaboración de RC se encuentran el glicerol, sorbitol y polientilenglicol, entre otros (Pashova, 2010).

2.5 Compuestos activos

La incorporación de aditivos y/o compuestos activos (antimicrobianos, compuestos bioactivos y antioxidantes, absorbedores de etileno y oxígeno, emisores/absorbedores de dióxido de carbono, controladores de humedad, entre otros) a los RC puede hacer más eficiente la protección en la superficie del producto y por lo tanto mejorar la calidad e incrementar la vida útil del alimento (Treviño-Garza et al., 2015; Catalá et al., 2007). Los envases activos pueden conseguirse por diversos medios, pero son básicamente dos los mecanismos; introduciendo el elemento activo en el interior del envase, junto con el producto a envasar, o bien formando parte el elemento activo del propio material de envase (Catalá et al., 2007).

Los antimicrobianos y los agentes antioxidantes son los compuestos activos más utilizados en la fruta fresca cortada. Entre los antimicrobianos se encuentran; los ácidos orgánicos (ácido acético, benzoico, láctico, propiónico, sórbico), ésteres de ácidos grasos (monolaurato de glicerilo), polipéptidos (lisozima, peroxidasa, lactoferrina, la nisina) y extractos de plantas (canela, orégano, limón, entre otros). Entre los antioxidantes más utilizados destacan; el ascorbato, calcio (cloruro de calcio), compuestos que contienen tiol (N-acetilcisteína), ácidos carboxílicos (ácido cítrico), compuestos fenólicos y resorcinoles, entre otros (Oms-Oliu et al., 2010).

2.6 Estudios de recubrimientos comestibles a base de mucílagos

Del-Valle y colaboradores en el 2004. Evaluaron el uso del mucílago de nopal espinoso (*Opuntia ficus indica*) como un RC para extender la vida útil de las fresas. Evaluaron diferentes métodos para la extracción del mucílago con el fin de obtener el mejor recubrimiento. Determinaron los efectos de los RC sobre el color, la textura y la

calidad sensorial de la fruta. De los resultados, se concluyó que el uso de RC a base de mucílago de nopal conduce a una mayor vida útil de fresa.

Martínez-Romero y colaboradores en el 2006. Desarrollaron un RC a base de *Aloe vera* gel como tratamiento post cosecha para mantener la calidad y seguridad de la cereza dulce. Encontraron que durante el almacenamiento en frío, la fruta sin recubrir mostró aumentos en la tasa de respiración, pérdida de peso y cambios de color rápido, ablandamiento y maduración acelerados, tallo dorado y aumento de las poblaciones microbianas. Por el contrario, la cereza dulce tratada con *Aloe vera* gel retrasó significativamente los cambios en los parámetros relacionados con las pérdidas de calidad. Además, los análisis sensoriales revelaron efectos benéficos en términos de retrasar el pardeamiento del tallo, la deshidratación y el mantenimiento del aspecto visual de la fruta sin ningún efecto perjudicial en el gusto, aroma y sabor. Concluyeron que, el RC de *Aloe vera* gel es innovador e interesantes para la aplicación comercial y puede ser una alternativa del uso de tratamientos químicos post cosecha.

Restrepo y colaboradores en el 2010. Evaluaron el efecto de la aplicación de dos recubrimientos comestibles desarrollados a partir del gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba para aumentar la vida útil de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. *Camarosa*). A partir de los resultados obtenidos se concluyó que el recubrimiento comestible de gel mucilaginoso de penca sábila condujo a un aumento en la vida útil de las fresas de por lo menos 10 días, con disminución de la pérdida de humedad, del índice de respiración, y conservación de la firmeza, sin ocasionar cambios perceptibles en el color, en comparación con los frutos utilizados como tratamiento control.

Song y colaboradores en el 2013. Debido a que las manzanas cortadas son altamente susceptibles al pardeamiento y deterioro microbiano, en este estudio desarrollaron RC a partir de *Aloe vera* gel incorporado con una solución antioxidante (cisteína 0.5 %) para preservar la calidad de las manzanas frescas cortadas y almacenadas a 4 °C durante 16 días. Las manzanas recién cortadas recubiertas con *Aloe vera* gel mostraron un retraso en

el pardeamiento, una reducción en la pérdida de peso y en el ablandamiento de la fruta, en comparación con el control (fruta no recubierta). Además, el RC de *Aloe vera* gel también fue eficaz en reducir las cuentas de bacterias aerobias totales, levaduras y hongos. En particular, el RC de *Aloe vera* gel incorporado con cisteína fue más eficaz en retrasar el pardeamiento y en reducir las cuentas microbianas. En general, los resultados de este estudio sugieren que un recubrimiento de *Aloe vera* gel se puede utilizar para el mantenimiento de la calidad de las manzanas frescas cortadas.

Guillén y colaboradores en el 2013. Evaluaron RC a base de geles de *Aloe arborescens* y *Aloe vera* para retrasar la maduración postcosecha del durazno y la ciruela. Los duraznos y las ciruelas recién cosechadas se recubrieron con los geles de *Aloe vera* o *Aloe arborescens* y se dejaron madurar a 20 °C durante seis días. Ambos recubrimientos retrasaron significativamente la producción de etileno, el mayor efecto se encontró en la ciruela, la cual presentaba las tasas de producción de etileno más altas. Los cambios en los parámetros de calidad relacionados con la maduración postcosecha del durazno y la ciruela, tales como; cambios de color, reducción de la acidez y aumento en el índice de maduración (relación sólidos solubles / acidez total) se retrasaron significativamente en la fruta recubierta. Además, ambos recubrimientos redujeron significativamente la pérdida de peso, especialmente el gel de *Aloe arborescens*. Por lo tanto, *Aloe arborescens* gel podría ser incluso más eficaz que el gel de *Aloe vera* para su uso como un RC para la conservación de la calidad de la fruta climatérica.

Alikhani en el 2014. Evaluó la vida útil del mango fresco cortado por la aplicación de RC a base de mucílago de *Opuntia* y aceite de romero. El mango manualmente cortado se trató mediante el recubrimiento de mucílago de *Opuntia*-aceite de romero (Mu + RO), 2 g aceite de romero microencapsulado (ROM), y 2 g (ROM) más (Mu + RO); las piezas de mango tratadas se colocaron en bandejas de plástico, se envolvieron con una película de PVDC y se almacenaron a 6 °C durante 9 días. Estos tratamientos retrasaron la degradación del ácido ascórbico, los cambios en el color, la actividad de la enzima POD e incrementaron la aceptación sensorial. Además inhibieron el índice de decaimiento y retrasaron el desarrollo microbiano. El tratamiento (Mu + RO) fue más

eficaz en el control de los parámetros de calidad en comparación con el tratamiento (ROM), pero los resultados revelaron que la aplicación del tratamiento compuesto prolonga efectivamente los atributos de calidad y prolonga la vida útil del mango fresco cortado.

Benítez y colaboradores en el 2015. Desarrollaron RC a base de *Aloe vera*, quitosán y alginato para kiwi fresco cortado. Encontraron que los RC a base de alginato actúan como una buena barrera a los gases, aunque después de ocho días de almacenamiento, se detectó un fuerte aumento de la producción de CO₂ para los recubrimientos de alginato y quitosán. El RC de *Aloe vera* mantuvo la firmeza de la fruta, impidió las pérdidas de ácido ascórbico y el amarillamiento debido a la maduración. El *Aloe vera* y quitosán disminuyeron la proliferación microbiana; aunque las rebanadas recubiertas con quitosán no fueron aceptadas por los panelistas sensoriales. Por el contrario, la fruta tratada con el recubrimiento a base de alginato presentó los recuentos de microorganismos más altos, incluso que las muestras control (sin recubrimiento). En general el panel sensorial prefirió las rodajas de kiwi tratadas con *Aloe vera* o quitosán. Finalmente, concluyeron que el *Aloe vera* fue el mejor recubrimiento para extender la vida útil postcosecha y mantener las propiedades sensoriales del producto a través del periodo de almacenamiento.

Correa en el 2015. Evaluó el efecto de RC a base de mucílago de linaza (ML), quitosán (Q) y, quitosán y mucílago de linaza (QML) sobre la vida de anaquel del melón fresco cortado. La aplicación de los RC disminuyó la carga microbiana (mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos y levaduras). Además, disminuyó la pérdida en peso, el ablandamiento de la fruta y la pérdida de sólidos solubles (en las frutas recubiertas con Q y ML). No se encontró efecto de los RC en el contenido de vitamina C. En el análisis sensorial, los RC de ML y Q mejoraron el sabor, mientras que el RC de QML no fue aceptado por los consumidores. No se encontró efecto en la textura sensorial. El índice de decaimiento disminuyó 25 % y la aceptación general se incrementó 6 días más en las frutas recubiertas, respecto al control. Finalmente, se estableció que los RC incrementaron la vida de anaquel del melón hasta por 15 días.

2.7 Recubrimientos comestibles en fruta cortada

Rojas y colaboradores en el 2006. Evaluaron RC elaborados a base de alginato y gelano en manzana fresca cortada. La adición de los RC mejoró la permeabilidad al vapor de agua en los trozos de fruta, además de servir como soporte de antioxidantes y mantener la textura por la presencia de iones de calcio y el color por el uso de N-acetilcisteína, así como disminuir el crecimiento microbiano, alargando la vida útil de los trozos de manzana hasta dos semanas, período a partir del cual se detectó la presencia de acetaldehído y etanol. Por otro lado, la incorporación de aceites esenciales como agentes antimicrobianos (aceite de orégano, hierba de limón y de canela), inhibieron el crecimiento de *L. innocua* y patógenos como *E. coli* O157:H7.

Oms-Oliu y colaboradores en el 2008. Evaluaron RC a base de alginato y pectina en pera y melón fresco cortado. En este estudio encontraron que los RC mejoraron la resistencia al vapor de agua en los trozos de la fruta, además de disminuir la acumulación de compuestos fenólicos en melón y mantener sus atributos de calidad. En la pera fresca cortada, la incorporación de compuestos como N-acetilcisteína y glutatión fue eficaz para controlar el pardeamiento, mantenimiento el potencial antioxidante, observándose además una disminución en la producción de etileno y del crecimiento microbiano.

Ruíz y colaboradores en el 2010. Evaluaron el efecto de RC a base de quitosán y almidón en el desarrollo microbiano y calidad del melón fresco cortado. Los melones fueron desinfectados, pelados y cortados en cuadros de 2x2 cm, posteriormente se les adicionaron los RC y se envasaron en charolas de poliestireno durante 13 días a 5 °C. Como resultado encontraron que todos los tratamientos redujeron significativamente la población microbiana respecto al control (mesófilos aeróbios, coliformes totales, hongos y levaduras), incrementando la vida útil hasta por 10 días, además de que el producto presentó buena aceptación durante su vida de anaquel.

Leyva y colaboradores en el 2011. Evaluaron el efecto de sales de calcio en papaya fresca cortada sobre la calidad física, química, microbiológica, nutracéutica y sensorial.

Los trozos de de papaya variedad ‘Maradol’ fueron tratados con lactato y cloruro de calcio al 1.0 y 3.0 %, bajo condiciones de inmersión por 2 min a 40 °C. Las muestras tratadas fueron colocadas en vasos de polietileno tereftalato y almacenadas por 8 días a 5 °C. En comparación con los frutos testigo, los tratamientos a base de calcio demostraron mejorar la firmeza (~ 8N), principalmente los frutos tratados con cloruro de calcio al 3.0 %. Por otra parte, la calidad nutracéutica (fenólicos totales) no se vio afectada por el uso de sales de calcio, mientras que las evaluaciones microbiológicas demostraron condiciones de inocuidad conforme a normatividad, lo cual sugiere el uso de cloruro de calcio para fines de comercializar papaya fresca cortada.

Brasil y colaboradores en el 2012. Estudiaron el efecto de RC multicapa incorporados con beta-ciclodextrina microencapsulado y trans-cinamaldehído (2 g /100 g) en la calidad de la papaya fresca cortada. Encontraron que la papaya fresca cortada recubierta presentó mayor firmeza, mantuvo el color, el contenido de β -caroteno y presentó menor pérdida de jugo. Además, las frutas recubiertas fueron más aceptadas por los panelistas que los controles. La encapsulación del trans-cinamaldehído fue efectiva ya que no tuvo un impacto negativo en el sabor de la fruta. En un estudio paralelo evaluaron también el efecto del envasado en la eficiencia del RC multicapa. La fruta recubierta y no recubierta en bandejas también fue cubierta con Saran® y en una tela (pañó para queso) a temperatura ambiente. Las bandejas Ziploc® con tapas Ziploc® fueron el mejor método de envasado. El conjunto el RC multicapa con la incorporación de los antimicrobianos microencapsulados fue eficiente en incrementar la vida útil y la calidad de la papaya fresca cortada.

Sipahi y colaboradores en el 2013. Evaluaron el efecto de RC multicapa a base de alginto para extender la vida útil de la sandía fresca cortada. Utilizaron un conjunto de soluciones; alginato de sodio (0.5, 1.0, 2.0 g /100 g), beta-ciclodextrina y trans-cinamaldehído microencapsulado (agente natural antimicrobiano), pectina y lactato de calcio, para la elaboración de los RC capa por capa. Encontraron que la fruta recubierta presentó mayor aceptación por los consumidores, excepto para el RC de 2 g/100 g de alginato. La textura (firmeza) se incrementó por la aplicación del RC. Los RC tanto de

1.0 y 2.0 g /100 g de alginato incrementaron la vida útil de la sandía fresca cortada de 7 (control) hasta 12 – 15 días. La aplicación del recubrimiento comestible de múltiples capas con 1.0 g / 100 g de alginato preservó la calidad y la aceptación sensorial de la sandía recién cortada mientras extendió su vida útil.

Moreira y colaboradores en el 2014. Evaluaron la eficacia de un envasado, utilizando un complejo β -ciclodextrina y transcinamaldehído microencapsulado en una matriz de quitosán sobre la vida útil del melón freco cortado (*Cucumis melo* L. var. *Reticulatus* Naud). La fruta cortada se recubrió con un sistema de recubrimiento multicapa usando una bandeja de polipropileno (Ziploc®) con (i) tapa Ziploc®, (ii) envoltura Saran® y (iii) gasa y se almacenó a 4 °C durante 15 días. Encontraron que el recubrimiento antimicrobiano multicapa incrementó la vida útil del melón fresco cortado (hasta por 15 días), en comparación con los controles sin recubrimiento (7 días), además las frutas recubiertas fueron más firmes, preservaron el color, el contenido de carotenoides, y mostraron una menor pérdida de peso respecto a la fruta control. Entre los tratamientos de envasado, la tapa Ziploc® fue más eficaz en el mantenimiento de la vida útil.

Martiñón y colaboradores en el 2014. Desarrollaron un recubrimiento comestible multicapa con un agente antimicrobiano para extender la vida útil del melón recién cortado y almacenado a 4 °C. Diseñaron tres experimentos para evaluar el efecto de diferentes concentraciones de quitosán (0.5, 1.0, 2.0 g / 100 g), pectina (0.5, 1.0, 2.0 g / 100 g), y trans-cinamaldehído encapsulado (1, 2, 3 g / 100 g), en la calidad de melón fresco cortado y almacenado a 4 °C. Encontraron que la adición del trans-cinamaldehído fue efectiva para el control de mesófilos aerobios y la concentración sensorial aceptable de este antimicrobiano fue de 2.0 g / 100 g. En general, el recubrimeinto comestible multicapa optimo encontrado en este estudio fue el compuesto por 2.0 g / 100 g de trans-cinamaldehído, 2.0 g / 100 g quitosán y 1.0 g / 100 g de pectina, y éste ayudó a prolongar la vida útil de melón fresco cortado hasta por 9 días.

2.8 Recubrimientos comestibles en piña fresca cortada

Montero-Calderón, 2008. Evaluaron los atributos de calidad de la pulpa de piña ‘Gold’ y la influencia de las condiciones de envasado en atmósferas modificadas pasivas (envasadas en aire, AIR: 20.9 % de O₂ y los trozos de piña con y sin una película comestible de alginato) y activas (en atmósferas de bajo oxígeno, LO: 12 % de O₂, 1 % CO₂, y alto oxígeno, HO: 38 % de O₂) a 5 °C sobre la calidad de la fruta cortada. Se encontró que el contenido de sólidos solubles, la acidez titulable, el contenido de agua, la vitamina C, los compuestos fenólicos y la actividad enzimática de la peroxidasa (POD) fue significativamente mayor en los trozos de fruta procedentes del tercio inferior de la fruta (base) ($P < 0.05$), en comparación con las otras secciones de la fruta, mientras que los parámetros de color L* y b* resultaron menores. Los trozos cortados del tercio inferior, cerca de la base de la fruta, mostraron una mayor fuerza de resistencia (mecánica). Se identificaron y cuantificaron veinte compuestos volátiles del perfil aromático de la piña. De ellos, los más abundantes fueron butanoato de metilo, metil-2-metil butanoato y hexanoato de metilo, mientras que los de mayor impacto en el olor de esta fruta fueron el metil-2-metil butanoato, etil-2-metil butanoato, hexanoato de metilo, hexanoato de etilo y 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)funanona. En las tres secciones transversales de la fruta, se identificaron los mismos componentes del perfil aromático, aunque el contenido total de los mismos fue mayor en los trozos cortados del tercio inferior (10910 mg/kg) con respecto a aquellos cortados del tercio superior, cerca de la corona de la piña (7560 mg/kg). El contenido de los principales compuesto aromáticos de la piña varió a lo largo de la fruta y también su composición relativa. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales, acidez, pH y color de la piña fresca cortada entre ninguna de las atmósferas evaluadas ni durante las dos semanas de almacenamiento a 5 °C. El contenido de vitamina C y la capacidad antioxidante fueron 15 y 8 % menores, respectivamente en los trozos de fruta envasados en las atmósferas HO que en LO o AIR, aunque no se observaron cambios a lo largo del almacenamiento. El contenido total de fenoles y la cantidad de líquido drenado de los trozos de piña variaron para las distintas condiciones de envasado y tiempos de almacenamiento. El uso de la película comestible de alginato en trozos de piña

contribuyó a reducir la cantidad de líquido drenado en contraste con las altas concentraciones de CO₂ que parecen favorecerlo. La dureza asociada al corte fue mayor para los trozos de piña cortados del tercio inferior de la fruta, pero no mostraron variaciones a lo largo del tiempo. Adicionalmente, el contenido de compuestos volátiles alcanzó un valor máximo durante la segunda semana de almacenamiento, reduciéndose posteriormente. Dada la variación en los parámetros de calidad a lo largo de la piña, es necesario el uso de procesos de mezclado que permitan la obtención de lotes de fruta fresca cortada con atributos de calidad homogéneos y reproducibles. El uso de atmósferas modificadas pasivas favoreció la retención de los compuestos volátiles con mayor impacto en el aroma de la piña y de sus propiedades antioxidantes. Su combinación con el uso de una película comestible de alginato, podría favorecer una reducción de la pérdida de líquido durante el almacenamiento a 5 °C.

Montero-Calderón y colaboradores en el 2008. Evaluaron la influencia de las condiciones de envasado en piña ‘Gold’ almacenada a 5 °C por 20 días. La fruta cortada fue envasada en recipientes de polipropileno y envuelta con una película de polipropileno (64 µm) bajo una atmósfera modificada activa (alto 40 % o bajo oxígeno, 11.4 %) o pasiva (aire o fruta cortada recubierta con 1 %, p/v de alginato). Para todas las condiciones de envasado la concentración de oxígeno disminuyó continuamente por debajo de su concentración inicial, pero nunca llegó a niveles por debajo de 2 % de O₂. La concentración de CO₂ en el interior de todos los paquetes se incrementó continuamente con el tiempo hasta 10.6 – 11.7 % a partir de las condiciones iniciales. Las concentraciones de etileno fueron siempre inferiores a 0.4 µl L⁻¹ mientras que el etanol se detectó sólo después de 13 días de almacenamiento. Los parámetros de color L* y b* disminuyeron significativamente con el tiempo en todas las condiciones de envasado y se atribuyeron directamente al fenómeno de translucidez en la pulpa del fruto. Cuando se utilizó el recubrimiento de alginato, la pérdida de jugo se redujo significativamente en contraste con la acumulación de jugo observada en el resto de las condiciones de envasado. El análisis del perfil de textura no cambió significativamente con el tiempo, lo que sugiere que las características estructurales de los trozos de piña fresca cortada se conservaron durante el almacenamiento. Desde el punto de vista microbiano, la vida útil

de la piña 'Gold' recién cortada se limitó a 14 días por el crecimiento de bacterias mesófilas.

Bierhals y colaboradores en el 2011. Evaluaron la influencia de RC de ácido ascórbico, ácido cítrico, lactato de calcio y almidón de yuca sobre los parámetros de calidad y la vida útil de la piña cortada durante 12 días de almacenamiento a 5 °C. Los tratamientos se sumergieron en solución antioxidantes con 0.5 % de ácido ascórbico y 1.0 % de ácido cítrico, con y sin 2.0 % de lactato de calcio y se recubrieron en una suspensión de almidón de yuca 2.0 %. Como control se utilizaron muestras tratadas con la solución de antioxidantes. Los RC con y sin lactato de calcio fueron eficientes en disminuir la pérdida de peso y jugo, manteniendo así de la firmeza de la fruta durante el almacenamiento. Sin embargo, estas muestras mostraron mayor oxidación y una disminución en el contenido de ácido ascórbico. Todos los tratamientos presentaron buena aceptación sensorial (puntuaciones por encima de 6). La vida útil para la fruta tratada con la solución antioxidante fue de 8 días mientras que para la fruta recubierta fue de 7 días y con mayores cuentas de hongos y levaduras. Por lo tanto, aunque los recubrimientos de almidón de yuca fueron eficientes en disminuir la tasa de respiración, pérdida de peso, pérdida de jugo y mantiene propiedades mecánicas, estos tratamientos no fueron capaces de aumentar la vida útil de la piña mínimamente procesada.

Mantilla y colaboradores en el 2013. Evaluaron la eficacia de un recubrimiento comestible multicapa con un complejo antimicrobiano microencapsulado (beta-ciclodextrina y trans-cinamaldehído) para incrementar la calidad y la vida útil de la piña fresca cortada. Encontraron que el trans-cinamaldehído encapsulado afectó el sabor de la fruta, pero la aplicación del RC incrementó la vida de anaquel hasta por 15 días a 4 °C mediante la inhibición del desarrollo microbiano (psicrotrofos, hongos y levaduras). El RC también ayudó a preservar el color, la textura y el pH de la fruta.

Gabri y colaboradores en el 2014, evaluaron el efecto de un RC incorporado con aceite esencial de menta en la calidad y vida de anaquel de piña fresca cortada. El RC con aceite esencial de menta presentó actividad antimicrobiana in vitro contra *E. coli* y *S.*

enteritidis. La acidez, pH, sólidos solubles y la textura no se vieron afectados por RC y el tiempo de almacenamiento y la pérdida de masa no fue superior a 1.0 % después del sexto día de almacenamiento. Los RC incorporados con el aceite esencial de menta inhibieron el crecimiento de levaduras y mohos, y disminuyeron el recuento de bacterias psicrotróficas durante el almacenamiento. Las cuentas de coliformes termotolerantes no fueron superiores a 3.0 NMP.g⁻¹ en todos los tratamientos y no se detectó la presencia de *Salmonella* sp. durante los 6 días de almacenamiento. El aceite esencial de menta proporcionó un sabor fuerte a la fruta, lo cual se detectó en las evaluaciones sensoriales.

Benítez y colaboradores en el 2014, evaluaron la eficacia de RCs de alginato, quitosán y de sales de ascorbato y lactato de calcio con una película de baja permeabilidad para mantener la calidad de la piña cortada y almacenada por 15 días a 4° C. Encontraron que los RCs de quitosán y de alginato no disminuyeron la tasa de respiración de la fruta y se obtuvieron valores de oxígeno menores al 2 % al final de la de almacenamiento. Se encontró una correlación significativa entre el índice de maduración, pH y luminosidad, lo que indica que estos parámetros podrían apuntar a la calidad de la piña. Finalmente concluyeron que una inmersión en soluciones de lactato de calcio en combinación con el uso de película de baja permeabilidad retarda el proceso de maduración y reduce la pérdida de luminosidad, incrementando la calidad de la piña fresca cortada hasta por 15 días a 4 °C.

Azarakshsh y colaboradores en el 2014. Evaluaron el efecto del aceite esencial de limón (0.1 %, 0.3 % y 0.5 %, p/v) incorporado en un RC a base de alginato [alginato de sodio 1.29 % (p/v), glicerol 1.16 % (p/v) y aceite de girasol 0.025 % (p/v)] en la vida de anaquel de la piña fresca cortada durante 16 días de almacenamiento (10 ± 1 °C, 65 ± 10 % HR). Los recuentos de hongos y levaduras de las muestras recubiertas con los formulados que contenían 0.3 y 0.5 % de aceite esencial fueron significativamente menores en comparación con los otros tratamientos. Sin embargo, la incorporación de aceite esencial al 0.5 % en el formulado disminuyó la firmeza y las puntuaciones sensoriales (sabor, textura y aceptación general) de la piña cortada. Por lo tanto, los resultados indicaron que una formulación de RC a base de alginato incorporado con 0.3

% (p/v) de aceite esencial de limón tiene el potencial de extender la vida útil y mantener la calidad de piña fresca cortada.

3. JUSTIFICACIÓN

La producción y el consumo de productos frescos procesados como la piña (*Ananas comosus*) han experimentado un notable incremento en los últimos años debido a los cambios en los hábitos de los consumidores. Sin embargo, el desarrollo de productos frescos cortados a partir de frutas se ha visto limitado debido a que dichos productos son altamente perecederos, además, las operaciones del procesado pueden alterar la integridad e inocuidad de la fruta acarreando una serie de cambios que disminuyen la calidad y vida de anaquel del producto final, por lo cual su mercado es limitado. Debido a esta problemática, en este estudio se aplicaron cubiertas comestibles a base de materias primas poliméricas ya que pueden proporcionar una alternativa para mejorar la calidad y vida de anaquel de la piña fresca cortada, así como la de otros productos altamente perecederos.

4. HIPÓTESIS

Los recubrimientos comestibles a base de quitosán, pululano, mucílagos de linaza (*Linum usitatissimum*), nopal (*Opuntia ficus*) y sábila (*Aloe vera*) mejoran la calidad e incrementan la vida de anaquel de la piña (*Ananas comosus*) fresca cortada.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y comparar el efecto de recubrimientos comestibles a base de biopolímeros en la calidad y vida de anaquel de la piña (*Ananas comosus*) fresca cortada.

5.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Extracción y caracterización de mucílagos de y linaza (*Linum usitatissimum*), nopal (*Opuntia ficus*) y sábila (*Aloe vera*).
- Desarrollar y caracterizar soluciones formadoras de recubrimiento a base de quitosán, pululano, mucílagos de linaza, nopal y sábila.
- Evaluar la actividad antimicrobianas (in vitro) de las soluciones formadoras de recubrimiento contra *L. monocytogenes*, *S. typhi*, *S. aureus* y *E. coli*.
- Elaborar recubrimientos comestibles capa por capa a base de quitosán-pululano, quitosán-mucílago de linaza, quitosán-mucílago de nopal y quitosán-mucílago de sábila, en piña (*Ananas comosus*) fresca cortada.
- Estudiar el efecto del empleo de los recubrimientos comestibles capa por capa sobre aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de la piña (*Ananas comosus*) fresca cortada.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Plantas y semillas

El nopal, la sábila y la semilla de linaza se obtuvieron de un mercado local, se seleccionaron de un color uniforme, sin daños mecánicos visibles y en buen estado.

6.1.1 Extracción de mucílagos

6.1.1.1 Mucílago de nopal

El MN se extrajo en base a estudios previos (Rodríguez et al., 2014), con algunas modificaciones. Los cladodios se molieron en un procesador de alimentos con agua destilada en una proporción de 1:1 (p/v). La suspensión se mantuvo a 90 °C durante 30 min y después se centrifugó a 3,500 rpm durante 20 min. Al sobrenadante se le añadió etanol al 96 % en una proporción de 1: 2 (v/v) para la precipitación del mucílago. El precipitado se separó por centrifugación a 3,500 rpm durante 20 min. Finalmente el mucílago se secó 70 °C durante 24 h, se pulverizó y se tamizó (tamaño de partícula 120 micras) para obtener un polvo homogéneo. El MN en polvo fue almacenado en recipientes de plástico hasta su posterior uso.

6.1.1.2 Mucílago de linaza

El ML se obtuvo en base a estudios previos (Wang et al., 2010; Qian et al., 2012), con algunas modificaciones. Las semillas de linaza se suspendieron en agua destilada en una proporción de 1:30 (p/v) y se mantuvieron en agitación (150 rpm) durante 2 horas a 25 °C. La suspensión viscosa resultante se filtró y se separó la semilla. Posteriormente, se añadió etanol al 96 % en una proporción de 1: 2 (v/v) para la precipitación del mucílago. El precipitado resultante se separó por centrifugación a 3,500 rpm durante 20 min. Finalmente el mucílago se secó a 70 °C durante 24 h, se pulverizó y se tamizó (tamaño de

partícula 120 micras) para obtener un polvo homogéneo. El ML en polvo fue almacenado en recipientes de plástico hasta su posterior uso.

6.1.1.3 Mucílago de sábila

El MS se separó directamente de la corteza exterior de la hoja (Chauhan et al., 2014) y se lavó con agua destilada estéril para su posterior uso.

6.1.2 Caracterización de los mucílagos

La caracterización de los mucílagos se llevo a cabo mediante métodos oficiales AOAC. Las determinaciones realizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización bromatológica de los mucílagos.

Determinación	Método
Humedad (%)	AOAC 950.46B
Ceniza (%)	AOAC 938.08
Proteínas (%N x 6.25)	AOAC 928.08
Grasa (%)	AOAC 933.05
Fibra cruda (%)	AOAC 962.09
Fibra dietética total (%)	AOAC 985.29
Fibra dietética insoluble (%)	AOAC 991.42
Fibra dietética soluble (%)	AOAC 993.19

Nota: Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Alimentos, Medicamentos y Toxicología. Facultad de Ciencias Químicas, UANL.

6.1.3 Espectrofotometría de infrarrojo (FTIR).

Los mucílagos extraídos se caracterizaron por espectrofotometría de infrarrojo (FTIR) en un espectrómetro Nicolet iS10 (Thermo Scientific) en el rango de 4 000 a 400 cm^{-1} , en unidades de absorbancia con aditamento de ATR a una resolución de 4 cm^{-1} , a 64 scans con ajuste de línea base.

6.2 Materia prima para la elaboración de soluciones formadoras de recubrimiento

Se utilizó quitosán de caparazón de cangrejo (85 % de acetilación, Sigma-Aldrich St. Louis, MO, USA), pululano (90 % pureza, Hayashibara Co., Okayama, Japón), y glicerol como plastificante (Analytical®, 99.5 % de pureza).

6.2.1 Elaboración de las soluciones formadoras de recubrimientos

Se prepararon cinco soluciones formadoras de recubrimiento en agua destilada estéril, mediante agitación mecánica constante, hasta su completa homogenización. Q (1.5 g/100 g de quitosán más 0.5 g/100 g de glicerol), PU (6.5 g/100 g de pululano más 0.5 g/100 g de glicerol), MN (4.0 g/100 g de mucílago de nopal más 0.5 g/100 g de glicerol), ML (1.5 g/100 g de mucílago de linaza más 0.5 g/100 g de glicerol), y MS (mucílago de sábila y agua destilada estéril en una proporción de 1:1 (p/v) más 0.5 g/100 g de glicerol).

6.2.2 pH, viscosidad y opacidad de las soluciones formadoras de recubrimiento

Las mediciones de pH se llevaron a cabo con un potenciómetro (Beckman modelo 390), según el método AOAC 981.12. La viscosidad se determinó con un viscosímetro Koehler (K447-BX) (velocidad de corte de 100 rpm, utilizando la aguja R2), los resultados se reportaron en centipoises (CP). El color (% de opacidad) de las soluciones formadoras de recubrimiento se determinó en base a lo reportado por Fakhouri et al., (2015), con un colorímetro HunterLab (Colorflex® EZ), mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Opacidad} = (\text{OpN}/\text{OpB}) \times 100$$

Donde:

OpN= Solución formadora de recubrimiento contra fondo negro

OpB= Solución formadora de recubrimiento contra fondo blanco.

6.2.3 Actividad antimicrobiana de las soluciones formadoras de recubrimiento

Para la determinación de la actividad antimicrobiana las cepas se cultivaron en caldo infusión cerebro corazón (CICC; BD Bioxon®) a 37 °C por 16 hrs, posteriormente las células fueron recuperadas por centrifugación (5,000 rpm x 5 min), resuspendidas en solución salina estéril (0.85 g/ 100 g de NaCl) y ajustadas a la escala 1 de Mc Farland (3×10^8 cel/mL) en un espectrofotómetro Beckman a 625 nm. Se inocularon 100µl del cultivo ajustado en 100mL de agar infusión cerebro corazón (AICC; BD Bioxon®) y se colocaron en cajas Petri estériles. Las soluciones formadoras de recubrimiento [100µl de las soluciones de forma individual y 50µl (Q) + 50µl (PU, ML, MN ó MS) en los análisis de capa por capa] fueron colocadas en pocillos previamente realizados en las cajas Petri y se incubaron a 37 °C por 24 hrs. La actividad antimicrobiana se determinó por la presencia de halos de inhibición (mm).

6.3 Selección de la piña

Se trabajó con piña ‘miel’ adquirida en el Mercado de Abastos Estrella, San Nicolás de los Garza, N.L., procedentes de Veracruz (Figura 1). Para contar con lotes homogéneos, las piñas se seleccionaron eliminando aquellas que presentaban lesiones mecánicas y se aceptaron las de apariencia firme, exentas de hongos y de color homogéneo, así como con un olor agradable característico.



Figura 1. Piña ‘miel’ utilizada en el estudio.

6.3.1 Recubrimiento de la piña fresca cortada por el método capa por capa

La técnica de capa por capa se realizó en base a previos reportes (Brasil et al., 2012; Mantilla et al., 2013; Sipahi et al., 2013; Martiñon et al., 2014; Poverenov et al., 2014). Las piñas previamente seleccionadas fueron desinfectadas por inmersión en una solución de hipoclorito (250 mg/kg) por 1 min, se lavaron con agua destilada, se secaron con toallas de papel y se cortaron en trozos en 2 cm por lado. Todos los materiales (superficies y utensilios) en contacto con el alimento fueron desinfectados previos a su uso. La fruta fresca cortada se recubrió mediante la técnica de capa por capa. Se evaluaron cuatro tratamientos diferentes (con dos soluciones por tratamiento); QPU, QML, QMN y QMS. Las muestras se sumergieron en cada solución de recubrimiento por 2 min (capa interna de recubrimiento; PU, ML, MN y MS) y se dejó escurrir el exceso del recubrimiento durante 2 minutos antes de sumergir la muestra en la siguiente solución (capa externa de recubrimiento; Q). Posteriormente, las muestras recubiertas se secaron en una campana de flujo laminar (Biobase) a temperatura ambiente durante 20 min. Como control se utilizó la fruta sin recubrimiento. Finalmente, la fruta control y la recubierta fueron envasadas en recipientes de polietileno tereftalato (PET) (capacidad de 1 kg) y almacenadas (4 °C y 90 % HR) durante 18 días (Figuras 2 y 3). La fruta almacenada se analizó para cada uno de los parámetros (físicoquímicos, microbiológicos y sensoriales) cada 3 días durante 18 días.

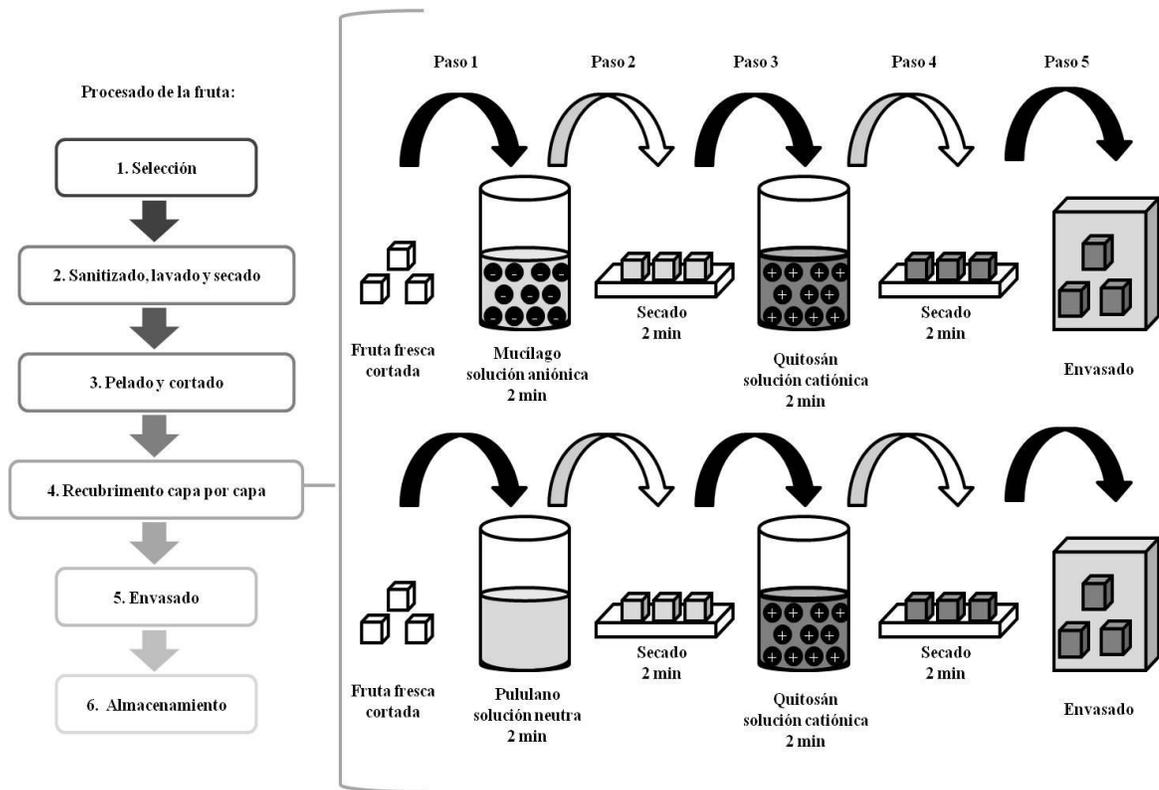


Figura 2. Procesado de la fruta y técnica de recubrimiento capa por capa.

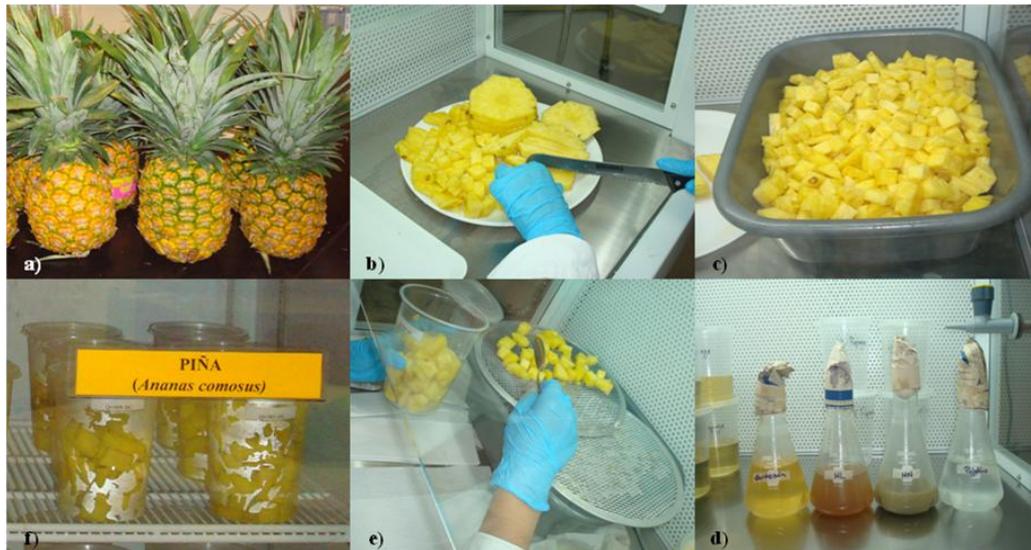


Figura 3. a) Piña ‘miel’, b) rebanado de fruta, c) corte de fruta en trozos, d) soluciones formadoras de recubrimiento e) escurrimiento de la piña fresca cortada recubierta y f) almacenado en refrigeración.

6.4 Análisis fisicoquímicos

6.4.1 Pérdida de peso

La fruta ($n=10$) se pesó utilizando una balanza digital (Mettler Toledo PG4002-S) al inicio del experimento (día 0) y en intervalos de 3 durante 18 días. Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial (Mantilla et al., 2013), mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = [(\text{peso inicial}) - (\text{peso final})] / (\text{peso inicial}) \times 100$$

6.4.2 Determinación de color

El color de la fruta fresca cortada ($n=4$) se determinó con un colorímetro (HunterLab (Colorflex® EZ) con una apertura de diámetro de 30mm, utilizando los parámetros de color CIELAB, L* (luminosidad), a* (-verde a + rojo), y b* (- azul a + amarillo) (Mantilla et al., 2013).

6.4.3 Firmeza

La firmeza de la fruta fresca cortada se determinó ($n=5$) con un penetrómetro de fruta (modelo FHT200 Extech) equipado con una punta de 3 mm. Los resultados se expresaron en Newton (N) (Yurdugül 2005).

6.4.4 Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y pH

Para la realización de los análisis químicos, la piña fresca cortada (50 – 80 g) de cada tratamiento se molió en un extractor de alimentos y posteriormente se realizaron las determinaciones correspondientes. El contenido de SST de la fruta se determinó por refractometría. Para ello, se colocaron tres gotas del triturado de la muestra en la zona de medida del refractómetro (Extech modelo RF15), efectuando lecturas hasta obtener

valores consecutivos, determinando su valor promedio. Los resultados se expresaron en °Brix (Método AOAC 932.14). La AT se determinó por titulación con NaOH 0.1 N hasta alcanzar un pH = 8.1 y se expresó en gramos de ácido cítrico por 100g de fruta (AOAC 942.15). Las mediciones de pH se realizaron con un pH-metro (Beckman modelo 390), según el método AOAC 981.12. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado (AOAC, 1990).

6.4.5 Contenido de ácido ascórbico (vitamina C)

Se realizó por titulación. A la fruta fresca cortada triturada (10g) se le adicionaron; 4mL de ácido acético, 10mL de yoduro de potasio y 1mL de solución de almidón, posteriormente se realizó una titulación con yodo al 0.01 N (Tavarez, 2005). El % de vitamina C se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Vitamina C} = \frac{[(\text{mL yodo}) (N) (0.089)]}{\text{PgM}} \times 100$$

N= Normalidad del yodo (0.01N)

Meq= miliequivalentes del yodo (0.1N= 0.089)

V= volumen de yodo gastado

PgM= Peso en gramos de la muestra

6.5 Análisis microbiológico

Se pesaron 10g de muestra en bolsas estériles (Nasco Whirl-Pak 18 Oz), se homogenizaron en 90mL de agua peptonada estéril (0.85 g/100g NaCl y 0.10 g/100 g peptona) por 1 minuto y se realizaron las diluciones seriadas correspondientes (10^{-1} – 10^{-5}). Para hacer la dilución 10^{-2} se tomó 1mL de la dilución 10^{-1} y se colocó en 9mL de agua peptonada y así sucesivamente (Mantilla et al., 2013; Sipahi et al., 2013; Martiñon et al., 2014; Poverenov et al., 2014). Los parámetros determinados fueron recuento total de mesófilos aerobios en placa, psicrótrofos, hongos y levaduras.

6.5.1 Mesófilos aerobios

Se trabajó de acuerdo a la norma NOM-092-SSA1-1994 la cual establece el uso del medio de cultivo agar–triptona–extracto de levadura (agar para cuenta en placa, ACP; Difco). Un ml de cada dilución se sembró en placas de Petri con agar para cuenta estándar (15 a 20 mL). Las placas se incubaron a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. Después de transcurrido el período de incubación se contaron las colonias para reportarse como unidades formadoras de colonia por gramo (log UFC/g). Las determinaciones se realizaron por triplicado ($n=3$).

6.5.2 Psicrótrofos

Para la determinación de microorganismos psicrótrofos, un mL de cada dilución se sembró en placas de Petri con agar para cuenta estándar (Difco; 15 a 20 mL). Las placas se incubaron a $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 7 días. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por g de fruta (log UFC/g; Poverenov et al., 2014; Azarakhsh et al., 2014; Mantilla et al., 2013). Las determinaciones se realizaron por triplicado ($n=3$).

6.5.3 Hongos y levaduras

Se trabajó de acuerdo a la norma NOM-111-SSA1-1994 la cual menciona que se debe utilizar como medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA; Bioxon), el cual se agregó (15 a 20 mL) después de haber puesto un mL de inóculo de cada dilución en la caja Petri correspondiente. Las placas se mezclaron cuidadosamente, una vez solidificado el medio se incubaron por $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 5 días. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por g de fruta (log UFC/g). Las determinaciones se realizaron por triplicado ($n=3$).

6.6 Desarrollo de microorganismos patógenos

La preparación del inóculo de las diferentes cepas (*L. monocytogenes* ATCC 19114, *S. typhi* ATCC 19430, *E. coli* y *S. aureus*) se realizó en base a estudios previos, con algunas modificaciones (Penteado et al, 2010; Alegre et al, 2010; Russo et al, 2014; Oliveira et al, 2014). Las cepas bacterianas se cultivaron individualmente en caldo infusión de cerebro y corazón (CICC; BD Bioxon®) por 16 hrs a 37 °C. Posteriormente las células fueron recuperadas por centrifugación (5.000 rpm x 5 min) y resuspendidas en solución salina estéril (0.85 g/ 100 g de NaCl) para obtener una concentración final de 1×10^8 células/mL. La viabilidad microbiana se determinó por análisis de recuento en placa en agar Oxford (Difco™) para *L. monocytogenes*, agar desoxicolato xilosa lisina (XLD; Dibico®) para *S. typhi*, agar staphylococcus (Fluka® Analytical) para *S. aureus* y Mac Conkey (Dibico®) para *E. coli*, seguido por una incubación a 37 °C durante 2 días.

La inoculación de trozos de piña recién cortadas (con y sin recubrimiento) con bacterias patógenas se llevó a cabo en base a estudios previos, con modificaciones (Penteado et al., 2010; Alegre et al., 2010; Russo et al., 2014; Oliveira et al., 2014). Las muestras de la piña fresca cortada (25 g) se colocaron en bolsas estériles (Nasco 18 oz/ 532 ml) y se inocularon individualmente con 100µl de la solución que contenía aproximadamente 1×10^8 células/mL de cada bacteria (Figura 4). La carga microbiana se monitoreo a los días 0, 2, 5 y 7 en los frutos almacenados en refrigeración a 4 °C. Para enumerar los diferentes patógenos, se utilizaron los medios indicados para cada microorganismo y las placas se incubaron a 37 °C durante 2 días. Los datos se representaron como log UFC/g.



Figura 4. Fruta fresca cortada inoculada con microorganismos patógenos.

6.7 Evaluación sensorial

Para evaluar la aceptación de los productos se realizaron análisis sensoriales. Los parámetros sensoriales de color, olor, sabor, textura y aceptación fueron evaluados por panelistas ($n=10$) no entrenados cada 3 días durante un período de 18 días de almacenamiento. Los panelistas fueron estudiantes (20 a 25 años de edad) de nuestra institución a quienes les gusta la piña (figura 5). Las frutas frescas cortadas con y sin recubrimiento fueron presentadas al azar a los panelistas y las variables fueron evaluadas con valores cualitativos en un rango de 1 – 5 (malo a excelente). Las muestras se consideraron aceptables cuando recibieron puntuaciones mayores o iguales a 2.5. Este criterio fue utilizado para determinar la vida de anaquel del producto (Treviño-Garza et al., 2015).



Figura 5. Panelista realizando las evaluaciones sensoriales de la fruta fresca cortada con y sin recubrimiento.

6.7.1 Índice de decaimiento (IDC)

Los panelistas evaluaron a detalle la ausencia o presencia de hongos, tanto en las frutas recubiertas con las diferentes formulaciones como en el control. Los síntomas de deterioro causado por la presencia de hongos en los frutos se evaluaron visualmente de acuerdo a la siguiente escala: 1= no dañado (0 %); 2= daño ligero (0 – 25 %); 3=daño

moderado (25 – 50 %); 4=daño severo (50 – 75 %) y 5=completamente dañado (75 – 100 %) (Treviño-Garza et al., 2015).

6.8 Análisis estadístico

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey. A los resultados que estaban en porcentaje se les realizó una transformación para normalizar los datos y luego aplicar el ANOVA mediante la siguiente fórmula: $P' = \arcsen \sqrt{P}$ // $P' = \text{Sen}^{-1} \sqrt{P}$. Los resultados del análisis sensorial se sometieron a una prueba de Kruskal-Wallis y prueba de Mann Whitney en el programa estadístico SPSS 17.0 (Treviño-Garza, 2012).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Rendimientos de los mucílagos

Se obtuvieron mucílagos de nopal y linaza con un tamaño de partícula de 120 micras (Figura 6). Los rendimientos de los mucílagos obtenidos se muestran en la figura 8. El MN tuvo un rendimiento de 0.3 ± 0.12 %. Rodríguez-González et al., 2011, reporta que el rendimiento de este mucílago puede fluctuar entre 0.45 – 0.54 %. Por otro lado, González-González (2011), refiere rendimientos de 0.16 %. Las diferencias están asociadas al método de extracción (variaciones de pH, temperatura, etc.).

El ML tuvo un rendimiento de 6.0 ± 0.38 , dentro del rango reportado por Fedeniuk et al, 1994 (3.6 – 9.5 %). Por otro lado, Fekri et al., 2008, refiere rendimientos de ML de 8.6 %. Las diferencias en los valores pueden estar asociadas al tipo de semilla y al método de extracción.

Finalmente, el MS (Figura 7) tuvo un rendimiento de 1.53 ± 0.14 % (base seca), similar a lo encontrado por Femina et al., 1999 (70 % en base húmeda). En general, las condiciones del proceso de extracción influyen directamente en el rendimiento de los diferentes mucílagos.

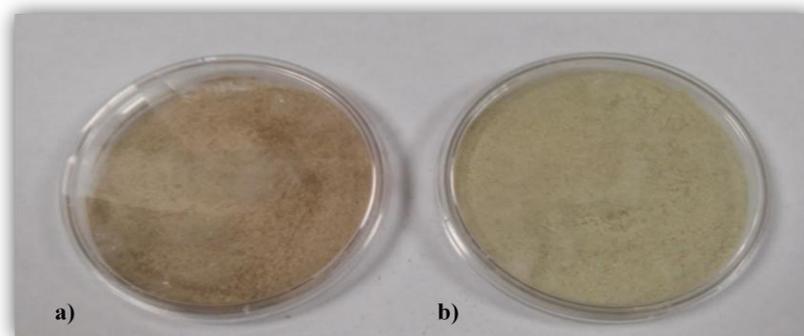


Figura 6. Foto de mucílagos; a) linaza y b) nopal, en polvo.



Figura 7. Mucílago de sábila extraído directamente de la parte interna de la hoja.

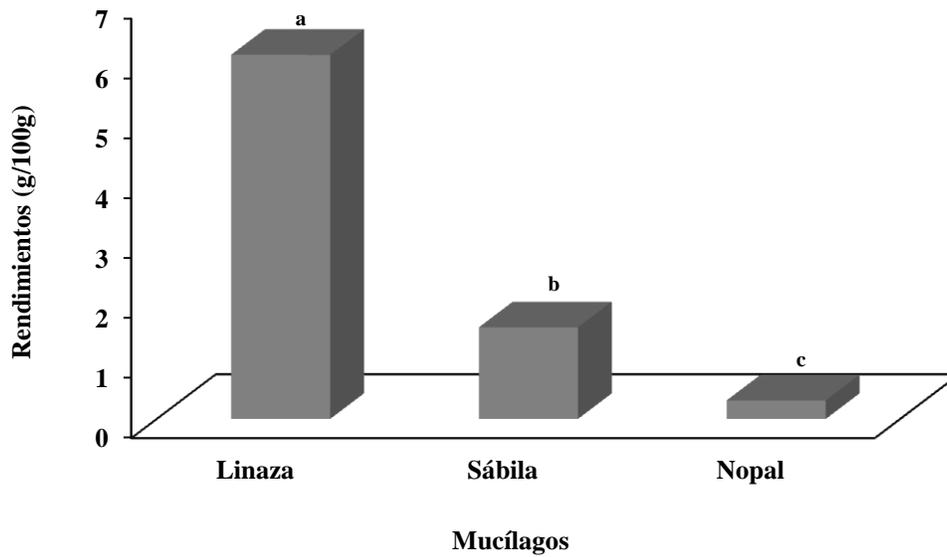


Figura 8. Rendimiento (%) de mucílagos obtenidos de la semilla de linaza, sábila y nopal.

7.1.2 Caracterización bromatológica de los mucílagos

La composición química de los diferentes mucílagos de muestra en la Tabla 3. En el caso del MN, este presentó un contenido de humedad de 7.09 %, dentro de lo reportado

por Rodríguez et al., 2014 (3.44 – 8.27 %). El contenido de ceniza fue de 11.11 %, similar a lo reportado (Rodríguez et al., 2014; 10.82 – 15.13 %), mientras que el contenido de proteína fue de 7.19 %, similar a lo encontrado por Gebresamuel et al., 2012 (5.18 – 6.82 %) y Rodríguez et al., 2014 (4.01 – 8.26 %). El contenido de grasa del MN es bajo, este puede fluctuar entre 0.06 – 0.2 % (Rodríguez et al., 2014), similar a lo encontrado en este estudio (0.07 %). Por otro lado, el contenido de fibra cruda fue de 1.52 %, ligeramente superior al reportado por Gebresamuel et al., 2012 (0.06 – 0.07 %). Por otro lado, la fibra dietética total fue de 61.84 % y la fibra dietética soluble e insoluble fue de 53.18 y 8.66 (Rodríguez et al., 2014; reporta valores de 57.23 – 73.01 %, 51.79 – 67.51 y 0.03 – 6.37, respectivamente). Finalmente, el contenido de carbohidratos fue de 12.70 %, dentro de lo reportado en la literatura (1.46 – 16.92 %; Rodríguez et al., 2014).

Para el ML el contenido de humedad fue de 11.48 %, superior al reportado por Fekri et al., 2008 (4.57%). Las variaciones pueden ser atribuidas al tiempo de secado. El contenido de ceniza y proteína fue de 7.49 % y 11.08 %, similar al encontrado por Fedeniuk y Billaderis, 1994 (ceniza; 4.4 – 8.7 y proteína; 4.3 – 29.2 %). El contenido de grasa fue de 0.25 % y el contenido de fibra cruda fue de 0.21 %. Por otro lado, el contenido de fibra dietética total fue de 70.22 % mientras que el contenido de fibra dietética soluble e insoluble fue de 69.27 y 0.95 %, respectivamente. Estos valores son similares a los reportados por Singer et al., 2011 (77.80, 73.80 y 1.50 %, para fibra dietética total, soluble e insoluble, respectivamente). Finalmente, no se detectó la presencia de carbohidratos (Tabla 3).

En el MS el contenido de humedad fue de 98.62 %, dentro de lo reportado por López 2014 y Di-Scala et al. 2013. El contenido de ceniza fue de 62.40 %, superior al reportado (rangos de 10.23 – 23.61 %, López 2014; Di-Scala et al., 2013; Muñoz et al., 2015; Femina et al., 1999), las diferencias pueden ser atribuidas al la variedad del producto, área de cultivo, época del año, etc. El contenido de proteína puede fluctuar entre 3.05 – 11.21 % (López 2014; Di Scala et al., 2013; Muñoz et al., 2015; Femina et al., 1999), similar a lo encontrado en este estudio (11.59 %). Por otro lado, el contenido de grasa del MS fue de 14.41 %, similar a lo encontrado por López et al., 2014 (17.23 %). El contenido de fibra cruda fue de 28.10 %, de acuerdo a lo reportado (11.21 – 40.50 %, Di-Scala et al., 2013; Femina et al., 1999; López 2014). La fibra dietética total, soluble e

insoluble fue de 35.4, 22.69 y 12.18, respectivamente. Finalmente, no se detectó la presencia de carbohidratos.

Tabla 3. Análisis bromatológico de los mucílagos.

DETERMINACIONES	MN	ML	MS
Humedad (%)	7.09±0.24	11.48±0.17	98.62±0.15*
Cenizas (%)	11.11±0.14	7.49±0.38	62.40±0.01
Proteínas (%Nx6,25)	7.19±0.52	11.08±0.08	11.01±0.06
Grasa (%)	0.07±0.03	0.25±0.03	14.41±0.03
Fibra cruda (%)	1.52±0.08	0.21±0.01	28.10±0.06
Fibra dietética total (%)	61.84±0.83	70.22±0.14	35.41±0.05
Fibra dietética insoluble (%)	8.66±0.47	0.95±0.06	12.18±0.04
Fibra dietética soluble (%)	53.18±0.14	69.27±0.03	22.69±0.14
Carbohidratos (%)	12.70±1.77	ND	ND

Nota: Los resultados de caracterización de los mucílagos (MN, ML y MS) están en base seca.* Base húmeda. ND= no detectado.

7.1.3 Espectrofotometría de infrarrojo (FTIR) de los polímeros

Se encontraron resultados similares en cuanto a frecuencia e intensidad de las bandas en los diferentes mucílagos. En general se trata de grupos característicos de polisacáridos pécticos, tales como; ácido carboxílico, carboxilato, alcohol y grupos éter.

Como se muestra en la Figura 9; a, b y c, en el espectro FTIR de los MN, MS y ML se observa una banda amplia a 3302 – 3258 cm⁻¹. Como lo indican Fox et al., 2012 y Saavedra et al., 2010 esta señal corresponde al estiramiento de los grupos –OH del alcohol y el ácido carboxílico, involucrados en los enlaces hidrogeno intermoleculares de la molécula del mucílago. El pico encontrado a 2916 – 2925 cm⁻¹ corresponde a las vibraciones –CH y CH₂ (Rodríguez et al, 2014 y Saavedra et al., 2010). Por otro lado, las señales encontradas en los MN y MS a 1368 – 1371 cm⁻¹ están asociadas con la vibración C–H, CH₂ y O–H (Rodríguez et al., 2010). Se observaron también dos bandas a 1409 – 1418 cm⁻¹ y 1583 – 1612 cm⁻¹ asociadas con el estiramiento asimétrico y simétrico de los grupos COO– en las sales de ácidos carboxílicos presentes en los mucílagos (forma ionizada de los grupos carboxilo) (Fox et al., 2012; Rodríguez et al., 2014; Nejatizadeh et al., 2012). Además se encontró una señal baja a 1721 – 1739 cm⁻¹ correspondiente al

grupo carbonilo C=O, indicativa de los compuestos con alto grado de esterificación. De acuerdo a lo reportado por Urias et al., 2010, cuando los picos de absorbancia son más altos a 1750 cm^{-1} que a 1650 cm^{-1} es característico de la presencia de pectina de alto grado de metoxilación. Por otro lado, el pico encontrado a $1141 - 1241\text{ cm}^{-1}$ corresponde al estiramiento éter C–O–C (Fox et al., 2012). Por último, la banda amplia encontrada en $1021 - 1032\text{ cm}^{-1}$ puede ser atribuida a las vibraciones C–C y C–O de la molécula de los mucílagos (Rodríguez et al., 2014).

En el caso del quitosán (Figura 10), este presenta una banda amplia a $3750 - 3000\text{ cm}^{-1}$ debido a la vibración de los grupos –OH, que se traslapan a la vibración simétrica N–H. La banda encontrada a 2860 cm^{-1} se debe a los enlaces C–H en CH₃. Las bandas de absorción encontradas a 1645 y 1559 cm^{-1} están relacionadas a las vibraciones de enlaces carbonilo (C=O) del grupo amida y a las vibraciones del grupo amino protonado (NH₃⁺), respectivamente. Las bandas de absorción de $1080 - 1160\text{ cm}^{-1}$ se atribuyen a las vibraciones C–O. De acuerdo a lo reportado por Silva et al., 2012, las bandas cerca de $1080 - 1025\text{ cm}^{-1}$ son atribuidas a la vibración C–O del anillo COH, COC y CH₂OH y el pico pequeño encontrado a 819 cm^{-1} se relaciona a una vibración final en la estructura del quitosán. Lo anterior concuerda con lo reportado en la literatura por Stoica-Guzun et al., 2010 y Silva et al., 2012.

En el pululano (Figura 11), la banda encontrada entre $3000 - 3600\text{ cm}^{-1}$ es debida a la vibración de los grupos –OH. La señal encontrada a $2800 - 2950\text{ cm}^{-1}$ puede atribuirse a los enlaces C–H (Jiao et al., 2004; Thirumavalavan et al., 2009). La señal encontrada a 1636 cm^{-1} se debe a la vibración de los grupos O–C–O. Mientras que las señales encontradas en 1339 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de los enlaces C–O–H (Thirumavalavan et al., 2009). Se observan además tres picos en el rango $991 - 1141\text{ cm}^{-1}$ que son características de este polímero, y que están asociadas a las vibraciones C–O–C, C–C y C–O (Jiao et al., 2004). De acuerdo a lo reportado por Thirumavalavan et al., 2009, el área en el rango $1500 - 650\text{ cm}^{-1}$ son característica del pululano. La absorción encontrada en 841 cm^{-1} esta asociadas a las unidades –D–glucopiranosido, mientras que las vibraciones encontradas a 752 y 915 cm^{-1} indican la presencia de enlaces α –(1–4)–D–glicosídicos y α –(1–6)–D–glicosídicos, de la molécula del pululano, respectivamente.

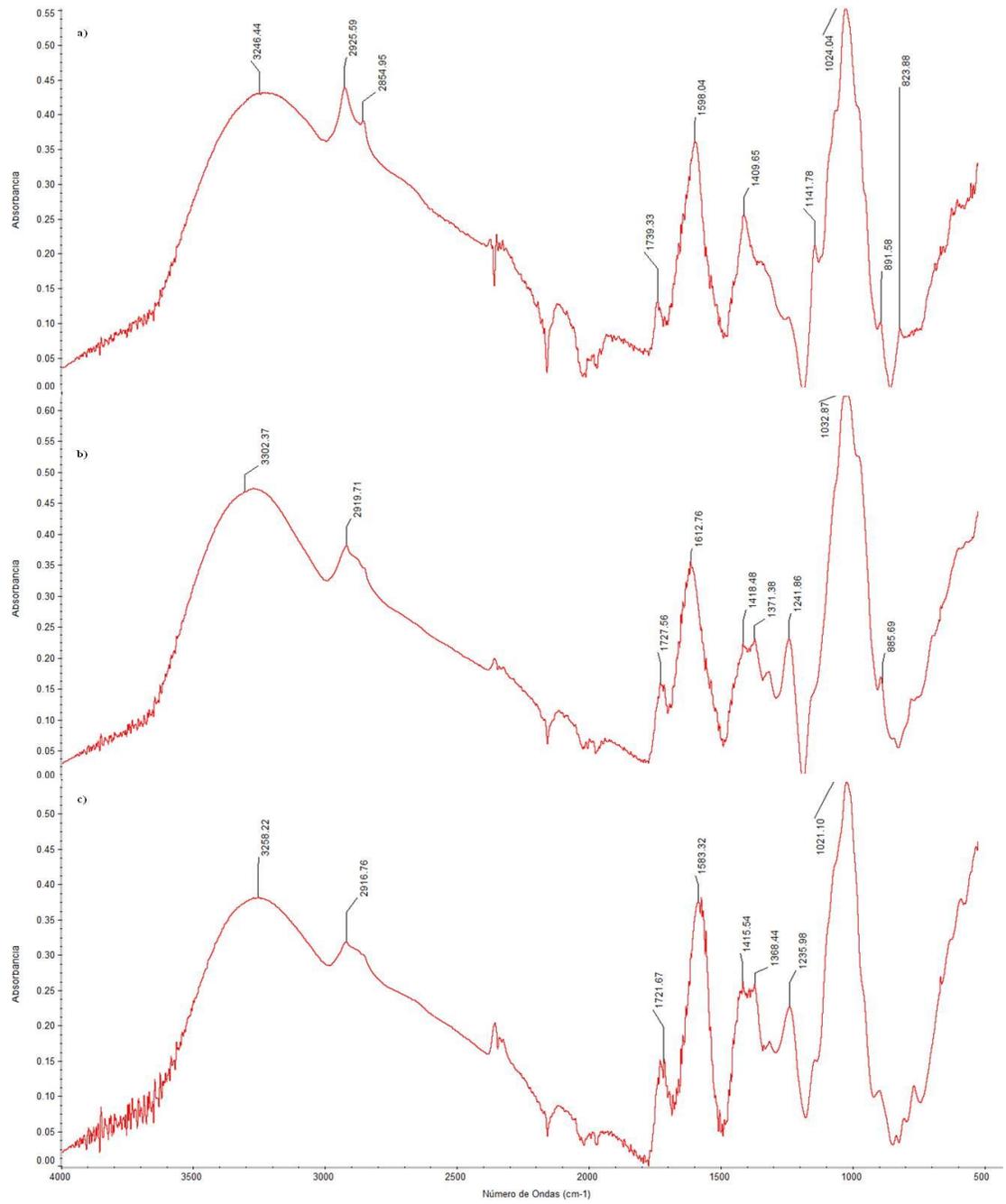


Figura 9. Espectros FTIR de a) mucílago de linza, b) mucílago de nopal y c) mucílago de sábila.

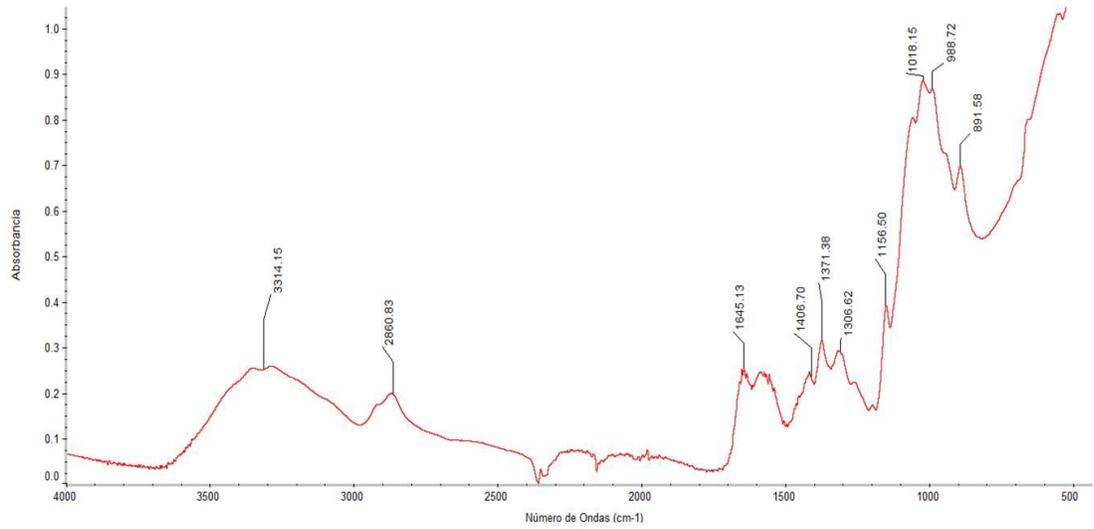


Figura10. Espectros FTIR del quitosán.

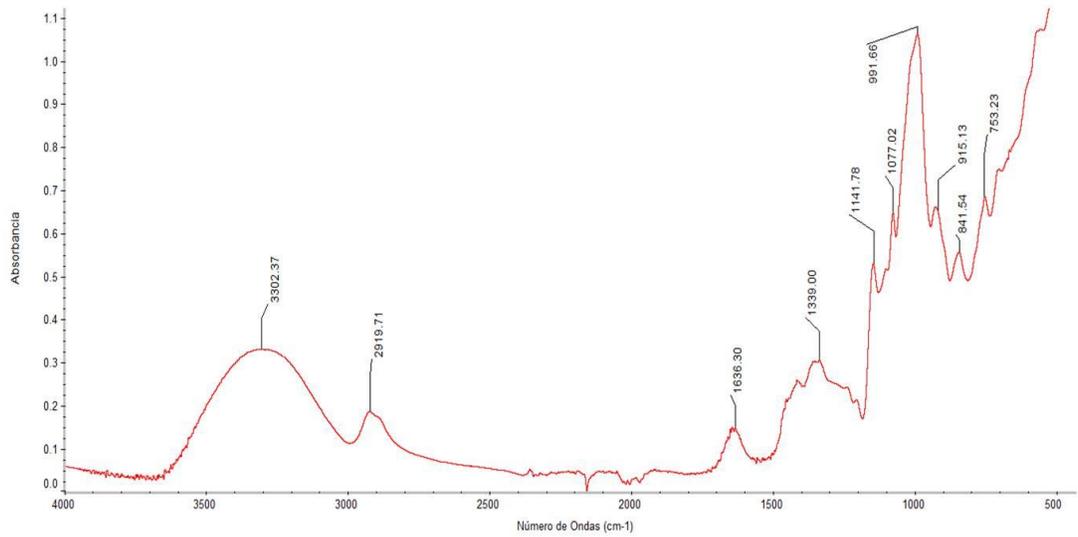


Figura11. Espectros FTIR del pululano.

7.2 Elaboración de las soluciones formadoras de recubrimiento

Se obtuvieron cinco soluciones formadoras de recubrimiento a base de cinco biopolímeros (Q, PU, MN, ML y MS) y un plastificante (glicerol). Los formulados a base de Q y MS presentaron un color amarillento, el PU presentó un color transparente (Leathers, 2003), mientras que los que los que contenían MN y ML presentaban un color verde y marrón, respectivamente (Figura 12).



Figura12. Soluciones formadoras de recubrimiento a base de Q, PU, ML, MN y MS.

7.2.2 pH, viscosidad y opacidad de las soluciones formadoras de recubrimiento

El pH de la solución de MN fue de 4.99 ± 0.06 . Gebresamuel et al., 2012, reporta valores de pH de 5.57 – 6.43 en soluciones de 12 a 1 % del mucílago, encontrando que al incrementar la concentración del polímero, disminuye el pH de la solución. La SFR de ML presentó pH de 5.96 ± 0.04 , similar a lo encontrado en la literatura por Kaewmanee et al., 2014 (6.25 – 6.70) en variedades como; Valoal, Linoal, Merlin, Kaolin, Natural, Festival y Solal. Finalmente, la SFP de MS presentó un pH de 4.43 ± 0.09 , de acuerdo a lo reportado por Chauhan et al., 2014 (4.0). Finalmente, el pH del quitosán y del pululano fue de 3.65 ± 0.06 y 6.68 ± 0.02 , respectivamente (Tabla 4). Similar a lo reportado por Han et al., 2005 para el quitosán (3.9 – 4.2) y por Rodríguez, 2011, para el pululano (5.39 – 6.63).

La SFR a base de MN (4 %) presentó una viscosidad de 210.93 ± 0.42 Cp. De acuerdo a lo reportado por Gebresamuel et al., 2012, la viscosidad de las soluciones se incrementa al aumentar la concentración del mucílago, y los valores pueden fluctuar entre 1878 – 9017 mPas (Cp) en soluciones de 4 – 12 % (p/v). Las diferencias pueden estar asociadas a la variedad de la planta donde se extrajo el mucílago (ej. *Opuntia ficus indica*, *Opuntia stricta*, etc.). Además, la viscosidad del mucílago depende su composición química, pH, grado de esterificación y la presencia de iones de calcio. Los mucílagos con mayor contenido de L-arabinosa generan suspensiones de viscosidad más alta en comparación con los mucílagos con menor contenido de esta (Rodríguez-González et al., 2014). En el caso del ML, la viscosidad fue de 702.87 ± 2.08 , similar a los valores reportados por Kaewmanee et al., 2014 (65.0 – 1211 Cp, en soluciones de ML al 1 % de siete variedades de linaza). La viscosidad del ML puede depender en su estructura química y la composición. La variabilidad en la composición es variable con respecto a los cultivares y épocas del año. Por otro lado, la fracción neutra (azúcares) del ML contribuye a la alta viscosidad. Este parámetro puede modificarse variando la concentración del polímero, la temperatura y el pH (Kaewmanee et al., 2014). La viscosidad de la SFP a base de MS fue de 347.13 Cp. De acuerdo a lo reportado por Nindo et al., 2010, los valores pueden fluctuar entre 29.6 – 109.6 (50 – 10 °C). Por otro lado, la viscosidad de la SFP de quitosán fue de 2111 ± 3.56 mientras que la del pullulano fue de 65.33 ± 0.64 (Tabla 4). La viscosidad depende del tipo de polímero, peso molecular, grado de desacetilación y concentración del polímero (Rodríguez 2011; Gebresamuel et al., 2012).

La opacidad es un parámetro importante que puede afectar las propiedades físicas y la aceptación de la piña fresca cortada. La opacidad de las SFR a base de quitosán, pullulano y MS fue baja (1.19 – 2.57 %) debido a la transparencia de las diferentes SFP (Figura 12; Chauhan et al., 2014). El ML presentó una opacidad de 42.97 ± 0.28 % debido al color marrón de la solución (coordenadas $a^* = 2.56 \pm 0.01$ y $b^* = 0.04 \pm 0.02$) (Figura 12). Por otro lado, el MN presentó la opacidad más alta (72.22 ± 0.09) debido al color verde característico de la solución (coordenadas $a^* = -1.66 \pm 0.02$ y $b^* = 24.16 \pm 0.08$) (Sepúlveda et al., 2007). Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis fisicoquímico de las soluciones formadoras de recubrimiento

SFR	pH	Viscosidad (Cp)	Opacidad (%)
Q	3.65 ± 0.06 ¹	2111.00 ± 3.56	2.57 ± 0.03
PU	6.68 ± 0.02	65.33 ± 0.64	1.19 ± 0.14
ML	5.96 ± 0.04	702.87 ± 2.08	42.97 ± 0.28
MN	4.99 ± 0.06	210.93 ± 0.42	72.22 ± 0.09
MS	4.43 ± 0.09	347.13 ± 16.92	2.31 ± 0.05

SFR=Soluciones formadoras de recubrimiento [quitosán (Q), pululano (PU), mucílago de linaza (ML), mucílago de nopal (MN) y mucílago de sábila (MS)].

¹Desviación estándar.

7.2.3 Actividad antimicrobiana de las soluciones formadoras de recubrimiento

En las pruebas antimicrobianas, la SFR a base de quitosán presentó actividad contra *L. monocytogenes*, *S. typhi*, *S. aureus* y *E. coli*, como se ha reportado previamente (Helander et al., 2001; Li et al., 2006; Li et al., 2007; Chung y Chen 2008; Lárez et al., 2008; Dutta et al., 2009). Por otro lado, aunque se ha reportado actividad antimicrobiana del pullulano contra algunos microorganismos (*A. actinomycetemcomitans*, *P. gingivalis*, *E. coli* y *E. coli* 0157:H7; Rodríguez, 2011), la SFR a base de este polímero no presentó actividad contra ninguno de los patógenos evaluados, de igual forma que la SFR a base de ML. Lo anterior concuerda con lo encontrado por Tehrani et al., 2014, quienes reportan que la composición del ML no tiene ningún efecto inhibitorio contra patógenos como *S. typhimurium*, *E. coli* y *S. aureus*. La SFR a base de MN no presentó actividad antimicrobiana contra las bacterias Gram negativas, sin embargo, presentó actividad contra *L. monocytogenes* y *S. aureus*. Lo anterior concuerda con lo reportado por Ammar et al., 2015, quienes encontraron que el extracto acuoso del mucílago de *Opuntia ficus* presenta actividad antimicrobiana contra estos patógenos. Finalmente, la SFR a base de MS no presentó actividad (Tabla 5). De acuerdo a lo reportado por Musmeci y Lezcano (2013), la solución acuosa del gel del *Aloe vera* no presenta actividad contra *S. aureus* y *E. coli*, sin embargo, los extractos etanólicos (50 y 70 %) a base de este gel si presentan actividad. Por otro lado, Saavedra et al., 2012, encontraron que los macerados acuosos de *Aloe vera* (sin adición de sales inorgánicas) carecen de actividad antibacteriana y fungicida frente a *S.aureus*, *E.coli*, *P.aeruginosa* y *A. niger*. De igual forma, Chang-Liang et al., 2011, reportan que el extracto acuoso del *Aloe vera* no presenta actividad

contra *S. aureus*, *E.coli* y *Salmonella*, sin embargo, el extracto obtenido con acetoacetato si presenta actividad contra estos microorganismos, siendo el ácido fumárico el responsable de dicha actividad. Por otro lado, Lawrence et al., 2009 reportan que los extractos de *Aloe vera* elaborados con etanol, metanol y acetona presentan actividad contra *S. aureus*, *E coli* y *S. typhi*.

Tabla 5. Actividad antimicrobiana de las SFR contra patógenos transmitidos por alimentos.

SFR	<i>L. monocytogenes</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E coli</i>
QU	++	++	++	++
PU	-	-	-	-
ML	-	-	-	-
MN	+	-	+	-
MS	-	-	-	-

Nota: Sin inhibición (-); >10 - <15 mm (+); >15 - <20 (++) mm de inhibición.

En el caso de las SFR capa por capa, todos los tratamientos presentaron actividad contra los cuatro patógenos evaluados. Dicha actividad es atribuida a la SFR de Q. De acuerdo a lo reportado en la literatura, el quitosán tiene actividad antimicrobiana contra *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium* (Liu et al., 2004; Li et al., 2007; Helander et al., 2001; Chung et al., 2008). La actividad antimicrobiana del quitosán es debida a la protonación del grupo amino presente en cada una de sus unidades de glucosamina. La interacción electrostática entre los grupos (NH_3^+) del polication y los grupos fosforilos de los fosfolípidos presentes en la membrana celular de las bacterias Gram negativas causa daños en ésta, provocando la salida de material intracelular (Liu et al., 2004). Algunos autores han propuesto que la formación del complejo polielectrolito que bloquea físicamente la membrana celular externa del microorganismo, impidiendo el flujo normal de nutrimentos/desechos, provocando la muerte bacteriana (Chung et al., 2004). Helander et al., 2001, demostraron que una cepa mutante altamente catiónica de *S. typhimurium* es más resistente que la cepa parental debido a que es menos probable la unión del quitosán a la superficie celular. En el caso de las bacterias Gram positivas, se ha propuesto que la capa de peptidoglicano se compone de redes con gran cantidad de poros, por lo que el quitosán podría entrar en la célula sin dificultad (Li et al., 2007) y

alterar las funciones vitales (podría inhibir la replicación del ARNm y la síntesis de proteínas) (Lárez et al., 2008).

En el caso de las bacterias Gram positivas, para *L. monocytogenes*, los halos de inhibición fluctuaron entre 12.00 – 14.67 mm con las SFR a base de QMS, QML y QMN, mientras que la actividad de la de QPU fue de 18.67 ± 1.53 mm (Figura 13). El halo de inhibición de la SFR de Q fue de 18.00 ± 0.00 mm. En *S. aureus*, se presentaron halos que fluctuaron entre 14.00 – 15.33 mm para las SFR de QMS, QML y QMN. La SFR de QPU presentó un halo de 18.33 ± 2.08 mm mientras que en la de Q fue de 19.67 ± 0.58 mm (Figura 15). En las bacterias Gram negativas, los halos de inhibición para *S. typhi* (Figura 14), fluctuaron entre 15.33 – 18.67 mm (QMS, QML y QMN) y 19.00 – 21.33 mm (QPU y Q, respectivamente). Finalmente, los halos para *E. coli* fluctuaron entre 12.00 – 14.00 mm (QMN, QML y QMS) y 16.33 – 19.00 mm (Q y QPU, respectivamente) (Figura 16).

En general, los halos de inhibición más altos los presentaron las SFR a base de Q y QPU (Figuras 13 – 16), probablemente porque el pullulan es un polímero no iónico y no interactúa con los grupos amino del polication, en comparación son las soluciones a base de mucílagos. A pesar de encontrar diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los diferentes tratamientos, los halos de inhibición son similares probablemente por las altas viscosidades de las SFR, particularmente la de Q, ya que presenta los valores más altos (Q (2111.00 ± 3.56 Cp), lo cual puede reducir su difusión en el agar (Rodríguez, 2011).

L. monocytogenes

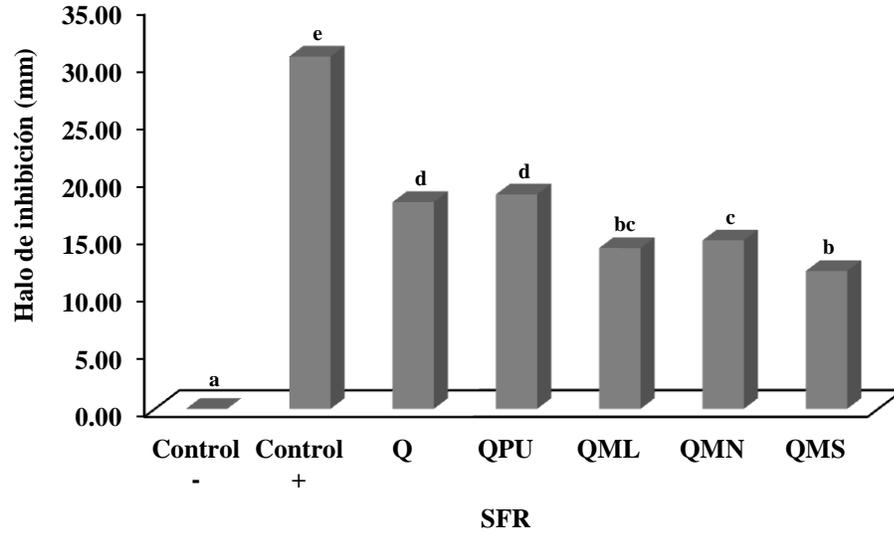


Figura13. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra *L. monocytogenes*. Control (-) solución salina estéril y C (+) kanamicina (0.05 %).

S. typhi

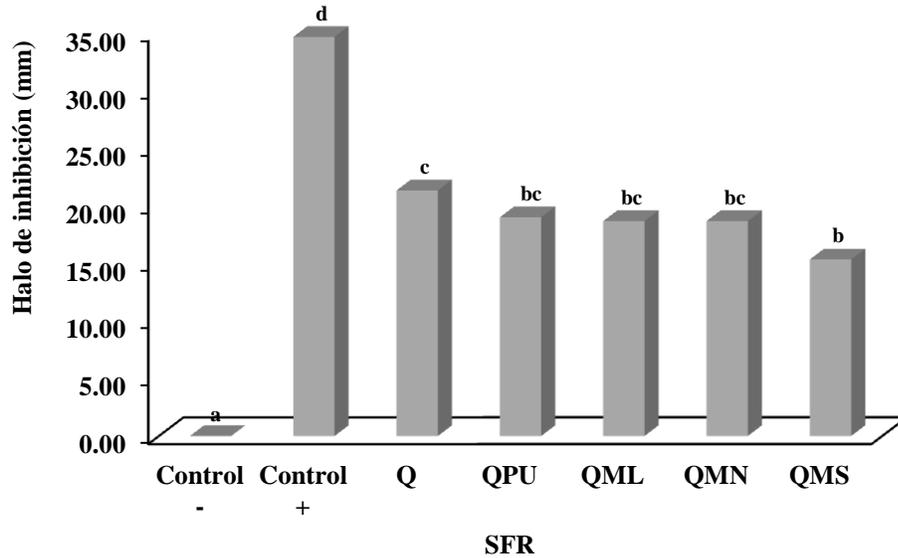


Figura14. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra *S. typhi*. Control (-) solución salina estéril y C (+) kanamicina (0.05 %).

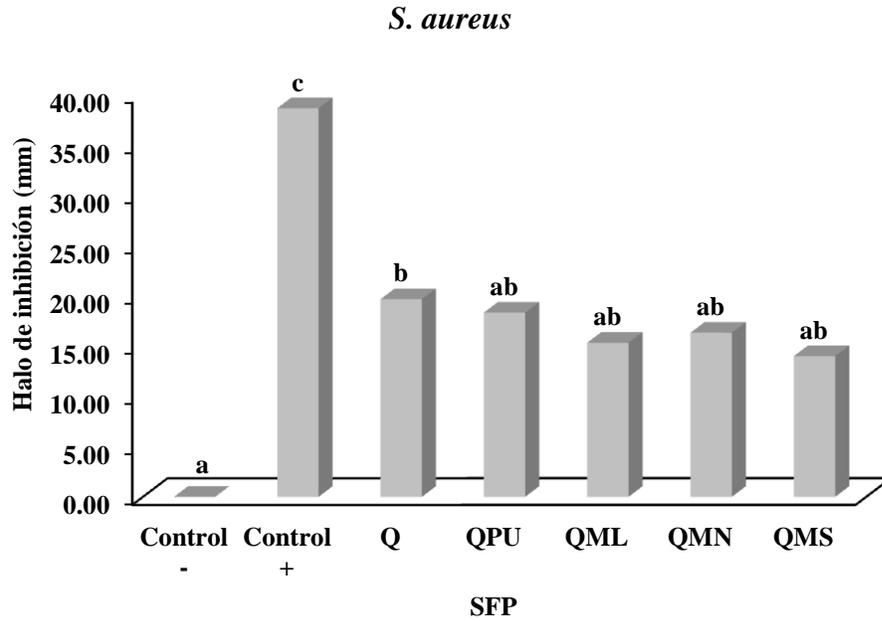


Figura15. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra *S. aureus*. Control (-) solución salina estéril y C (+) kanamicina (0.05 %).

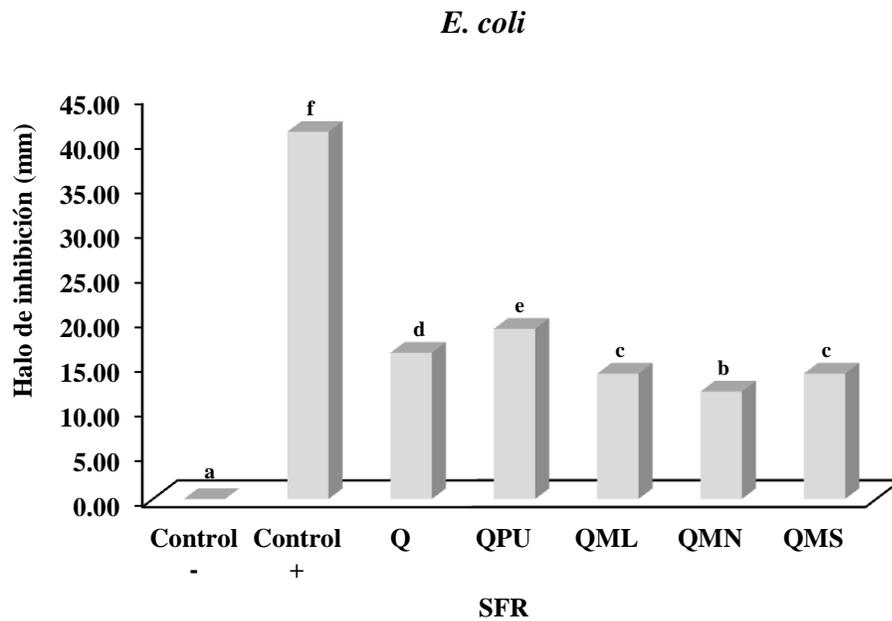


Figura16. Actividad antimicrobiana de las SFR capa por capa contra *E. coli*. Control (-) solución salina estéril y C (+) kanamicina (0.05 %).

7.3 Recubrimiento de la piña fresca cortada

Se obtuvo piña fresca cortada recubierta con QPU, QML, QMN y QMS lista para consumo (Figura 17).

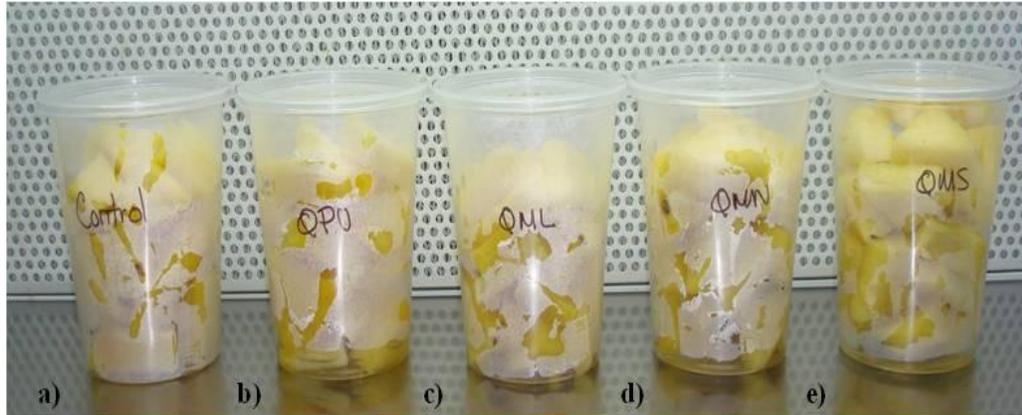


Figura 17. Piña fresca cortada: a) control y recubierta con b) QPU, c) QML, d) QMN y e) QMS.

7.4 Estudio de vida de anaquel y calidad en la piña fresca cortada

7.4.1 Análisis fisicoquímicos

7.4.1.1 Pérdida de peso, firmeza y color

La pérdida de agua de la fruta es la principal causa de su pérdida de peso, por lo tanto, el control de este parámetro es uno de los principales objetivos de la tecnología de los RCs. Como se muestra en la Figura 18, la pérdida de peso se incrementó significativamente ($P < 0.05$) durante el tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos. Sin embargo, la pérdida de peso de la fruta control (14.15 g/ 100 g) fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en comparación con la fruta recubierta. Después de 18 días de almacenamiento los recubrimientos de QMN y QMS fueron los más eficientes en la reducción de este parámetro con valores de 9.91 y 9.99 g/ 100 g, respectivamente. Los valores de pérdida de peso de QML y QPU fueron de 11.26 y 12.20 g/ 100 g. La eficiencia de los RCs para disminuir la pérdida de peso puede ser debido a que estos

materiales forman una barrera polimérica en la superficie del fruto, la cual reduce la transmisión de vapor de agua y por lo tanto la pérdida de peso (Sipahi et al., 2013; Mantilla et al., 2013). En comparación con los valores reportados por Mantilla et al., (2013) en RCs multicapa (alginato de sodio/ cloruro de pectina /calcio /trans-cinamaldehído), los RCs de QPU y QML evaluados en este estudio mostraron una pérdida de peso superior, la diferencia se puede atribuir al número de capas y al tipo de polímero utilizado. En el caso de los RCs QMN y QMS, éstos mostraron un efecto similar en la reducción de este parámetro. La efectividad puede ser atribuida a la capacidad de retención de agua por parte de los mucílagos (Gebresamuel y Gebre-Mariam 2012).

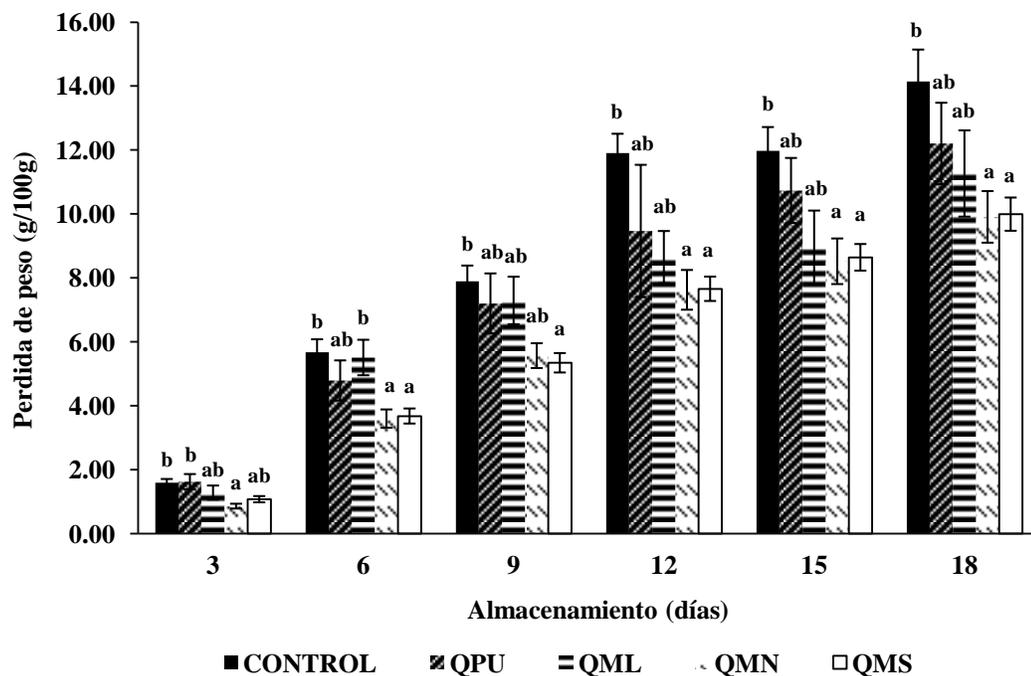


Figura 18. Pérdida de peso de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

Otro factor importante para la calidad de las frutas frescas cortadas es la firmeza (Liu y Liu 2014). La pérdida de firmeza o ablandamiento de la fruta es debido a procesos enzimáticos, pérdida de agua (por procesos respiratorios) y daño estructural al tejido debido al desarrollo microbiano (Fan et al., 2009; Atress et al., 2010).

Como se muestra en la Figura 19, los valores iniciales fluctuaron entre 4.87 – 5.42N, la fruta recubierta presentó valores de firmeza ligeramente superior en comparación con el control (evaluaciones iniciales), un efecto similar ha sido reportado por otros investigadores (Benítez et al., 2014; Azarakhsh et al., 2014; Mantilla et al., 2013). Después del día 3 de almacenamiento, se observó una disminución significativa ($P < 0.05$) en la firmeza de todos los tratamientos, sin embargo, la fruta control fue significativamente ($P < 0.05$) más blanda en comparación con la fruta recubierta y, para el día 18, los valores de firmeza para las frutas control, QPU, QML, QMN y QMS fueron de 1.32, 2.60, 2.23, 2.8 y 2.61N respectivamente. En general, la fruta recubierta fue significativamente más firme que el control y no se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) entre la fruta recubierta durante los 18 días de almacenamiento.

De acuerdo a lo reportado en la literatura, este efecto "reafirmante" es debido al fenómeno de reticulación, que ayuda a reducir la pérdida de jugo. Además, los RCs bicapa forman una barrera mecánica que retrasa el metabolismo respiratorio y en consecuencia disminuye la actividad enzimática (por ejemplo, polifenol oxidasa), los cuales que están relacionados con el ablandamiento de la fruta (Brasil et al., 2012; Pereira et al., 2014). Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo reportado por Mantilla *et al.* (2014) y, Azarakhsh *et al.* (2014), quienes evaluaron el efecto de RCs multicapa a base de alginato de sodio /pectina /cloruro de calcio y, gelano /alginato, respectivamente. Contario a lo reportado por Benítez (2013), los RC bicapa utilizados en este estudio si mostraron un efecto positivo para reducir el ablandamiento de la fruta fresca cortada.

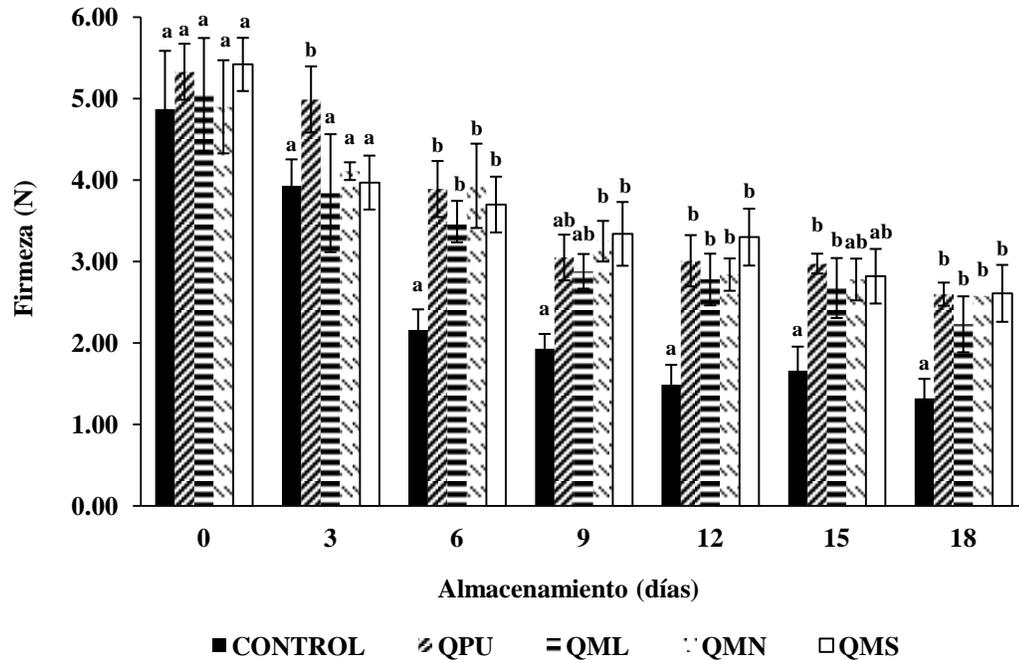


Figura 19. Firmeza de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

Con respecto a las evaluaciones de color, la aplicación de los RCs capa por capa no afectó los valores iniciales de L^* (74.65 – 78.43) y b^* (38.05 – 43.40), sin diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Estos valores son similares a los encontrados en previos estudios (Benítez et al., 2014; Azarakhsh et al., 2014). En el caso del parámetro a^* , los valores iniciales fluctuaron entre -1.59 – 0.88, las muestras recubiertas con QML tuvieron valores más altos debido al color de la solución formadora de recubrimiento (Tabla 6; Figura 12).

Durante el almacenamiento, se observó una disminución significativa ($P < 0.05$) del parámetro L^* en el control y en las muestras recubiertas con QPU y QMN, sin embargo, estas últimas mostraron valores más altos (69.19 y 70.80, respectivamente) respecto al control (62.99), el cual presentó signos de oscurecimiento (Figura 34). Por otro lado, en la fruta recubierta con QML y QMS se mantuvieron estables los valores de la coordenada L^* durante los 18 días de almacenamiento (71.45 y 72.95, respectivamente; Tabla 6). Un efecto similar fue encontrado en RCs a base de alginato (Azarakhsh et al., 2014). Por el contrario, otros estudios indican que la aplicación de las RCs a base de almidón de yuca (Bierhals et al., 2011) y alginato (Mantilla et al. 2013) no afectó significativamente el parámetro de luminosidad de la piña fresca cortada. En el caso de b^* , los valores

disminuyeron con el tiempo en todos los tratamientos ($P < 0.05$), aunque el control y las muestras recubiertas con QMN presentaron los valores más altos (35.51 y 35.15, respectivamente; Tabla 6). De acuerdo con el reportado por Mantilla et al. (2013), la disminución de b^* en las muestras recubiertas se puede atribuir al espesor y a la concentración de polímero en el recubrimiento. Por último, los valores de a^* se incrementaron significativamente ($P < 0.05$) durante el tiempo de almacenamiento, la fruta control presentó los valores más altos (5.72; Tabla 6). De acuerdo a lo reportado por Antonioli et al. (2003), la disminución de la coordenada L^* y el aumento de la coordenada a^* ("redness") es indicativo de pardeamiento de la fruta. Como se muestra en la Tabla 6 y la Figura 34 (días 6 a 18), las muestras control presentaron signos de pardeamiento "manchas marrón", mientras que las muestras recubiertas con QPU, QML, QMN y QMS presentaron un color amarillo característico del producto y sin signos de pardeamiento.

Tabla 6.

Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en el color de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.

Días	Control	QPU	QML	QMN	QMS
L^* (luminosidad)					
0	^a 74.65 ¹ (0.44) ^C	^a 78.44 (1.07) ^B	^a 75.00 (1.50) ^A	^a 76.12 (1.07) ^B	^a 75.63 (0.99) ^A
3	^a 75.79 (0.97) ^{BC}	^a 77.01 (0.63) ^B	^a 73.30 (1.73) ^A	^a 71.89 (2.61) ^{AB}	^a 76.86 (0.80) ^A
6	^a 71.29 (1.61) ^{ABC}	^a 76.27 (1.62) ^{AB}	^a 73.89 (0.61) ^A	^a 72.43 (1.75) ^{AB}	^a 75.72 (0.85) ^A
9	^a 65.24 (2.61) ^{AB}	^b 73.99 (0.91) ^{AB}	^b 74.92 (0.39) ^A	^{ab} 71.81 (1.18) ^{AB}	^b 74.11 (2.28) ^A
12	^a 63.25 (3.25) ^A	^{bc} 74.79 (0.85) ^{AB}	^{bc} 73.01 (1.10) ^A	^{ab} 67.01 (1.85) ^A	^c 75.76 (0.72) ^A
15	^a 63.01 (2.38) ^A	^b 73.48 (0.61) ^{AB}	^b 71.34 (0.90) ^A	^{ab} 68.82 (1.74) ^{AB}	^b 73.41 (1.59) ^A
18	^a 62.99 (2.01) ^A	^b 70.80 (2.20) ^A	^b 71.45 (0.83) ^A	^{ab} 69.19 (1.64) ^{AB}	^b 72.95 (0.45) ^A
a^* (verde-rojo)					
0	^{ab} -1.37 ¹ (0.15) ^A	^{ab} -1.41 (0.16) ^A	^b -0.88 (0.09) ^A	^a -1.59 (0.14) ^A	^{ab} -1.17 (0.11) ^A
3	^c 0.67 (0.11) ^B	^{ab} -1.02 (0.12) ^{AB}	^{ab} -0.69 (0.22) ^A	^b -0.42 (0.14) ^B	^a -1.11 (0.11) ^{AB}
6	^c 1.43 (0.13) ^{BC}	^a -0.54 (0.12) ^B	^b 0.54 (0.11) ^B	^a -0.26 (0.09) ^B	^a -0.70 (0.09) ^B
9	^b 2.34 (0.26) ^{CD}	^a 0.35 (0.08) ^C	^a 0.52 (0.13) ^B	^a 0.56 (0.17) ^C	^a 0.27 (0.03) ^C
12	^b 2.98 (0.11) ^D	^a 0.32 (0.05) ^C	^a 0.61 (0.07) ^B	^a 0.83 (0.23) ^{CD}	^a 0.48 (0.11) ^{CD}
15	^b 3.78 (0.42) ^D	^a 0.76 (0.16) ^{CD}	^a 0.74 (0.06) ^B	^a 1.18 (0.23) ^{CD}	^a 0.52 (0.10) ^{CD}
18	^b 5.72 (0.64) ^E	^a 1.08 (0.09) ^D	^a 1.04 (0.19) ^B	^a 1.56 (0.13) ^D	^a 0.74 (0.11) ^D
b^* (azul-amarillo)					
0	^a 42.40 ¹ (3.65) ^{AB}	^a 40.82 (2.55) ^C	^a 38.05 (1.67) ^{AB}	^a 43.40 (2.07) ^C	^a 40.64 (1.68) ^D
3	^a 44.45 (0.25) ^A	^a 37.77 (1.86) ^{BC}	^a 39.62 (2.78) ^B	^a 42.76 (1.36) ^{BC}	^a 38.39 (1.38) ^{CD}
6	^a 40.17 (1.47) ^{AB}	^a 35.92 (1.55) ^{ABC}	^a 36.00 (0.34) ^{ABC}	^a 40.84 (1.61) ^{ABC}	^a 37.79 (0.74) ^{BCD}
9	^b 39.52 (0.27) ^{AB}	^a 34.57 (0.88) ^{ABC}	^a 32.30 (0.10) ^{AB}	^b 39.05 (0.71) ^{ABC}	^a 33.43 (0.45) ^{AB}
12	^{bc} 38.25 (0.96) ^{AB}	^a 30.62 (1.05) ^A	^a 30.68 (0.84) ^A	^{bc} 36.51 (1.55) ^{ABC}	^{ab} 34.26 (0.77) ^{ABC}
15	^b 36.46 (1.76) ^{AB}	^{ab} 31.74 (0.63) ^{AB}	^a 30.98 (0.27) ^A	^{ab} 35.61 (1.34) ^{AB}	^{ab} 32.61 (0.79) ^A
18	^b 35.51 (0.18) ^A	^a 30.82 (0.96) ^{AB}	^a 30.31 (1.00) ^A	^b 35.15 (0.59) ^A	^a 30.06 (0.28) ^A

¹ Desviación estandar.

^{a,b} Las medias en la fila, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B} Las medias en la columna, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

7.4.1.2 Sólidos solubles totales, acidez, pH y Vitamina C.

El contenido de sólidos solubles totales (SST) es un indicador del estado de madurez, ya que un aumento de este parámetro es típico en la maduración de la fruta (Pereira et al., 2014). Como se muestra en la Figura 20, los valores iniciales de SST fluctuaron entre 10.07 – 12.33 °Brix, los cuales son similares a los encontrados en estudios previos (Mantilla et al. 2013; Benítez et al. 2013). Durante el almacenamiento, el contenido de los SST se incrementó significativamente ($P < 0.05$) en todos los tratamientos y, hasta el día 15, las muestras recubiertas con QMS presentaron valores significativamente más bajos ($P < 0.05$) en comparación con la fruta no recubierta (12.00 y 13.53 respectivamente). Sin embargo, en el día 18, la fruta recubierta con este tratamiento presentó valores más altos y similares al control (13.73 y 13.80 °Brix, respectivamente), en comparación con la fruta tratada con QPU, QML y QMN, cuyos valores oscilaron entre 12.53 – 12.93 °Brix. Un efecto similar fue reportado por Chauhan et al., (2014) en uvas recubiertas con *Aloe vera*. El efecto benéfico de los RCs capa por capa (QPU, QML y QMN) para retardar los cambios en la TSS pueden atribuirse a que la cubierta que forman estos materiales es una barrera contra el ambiente externo, la cual reduce el intercambio de gases, ralentiza el metabolismo debido a la menor cantidad de O₂ disponible y por lo tanto retrasa la madurez (Moreira et al., 2014).

En cuanto a la acidez total (AT, expresada en ácido cítrico mg/100g), la aplicación de los RC capa por capa no afectó significativamente ($P > 0.05$) los valores de este parámetro, los cuales oscilaron entre 0.62 – 0.73 g de ácido cítrico/100 g de fruta, y los valores encontrados en este estudio están dentro del rango reportado para la piña fresca cortada (Montero-Calderón et al., 2008; Bierhals et al., 2011; Gabri et al., 2014). Como se muestra en la Figura 21, durante el almacenamiento la AT disminuyó ($P < 0.05$) en todos los tratamientos, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras con y sin recubrimiento al final del tiempo de análisis (0.42 – 0.49 g/ 100 g). La disminución de este parámetro es debido a la transformación de ácidos en el proceso de maduración de la fruta (Benítez et al., 2014).

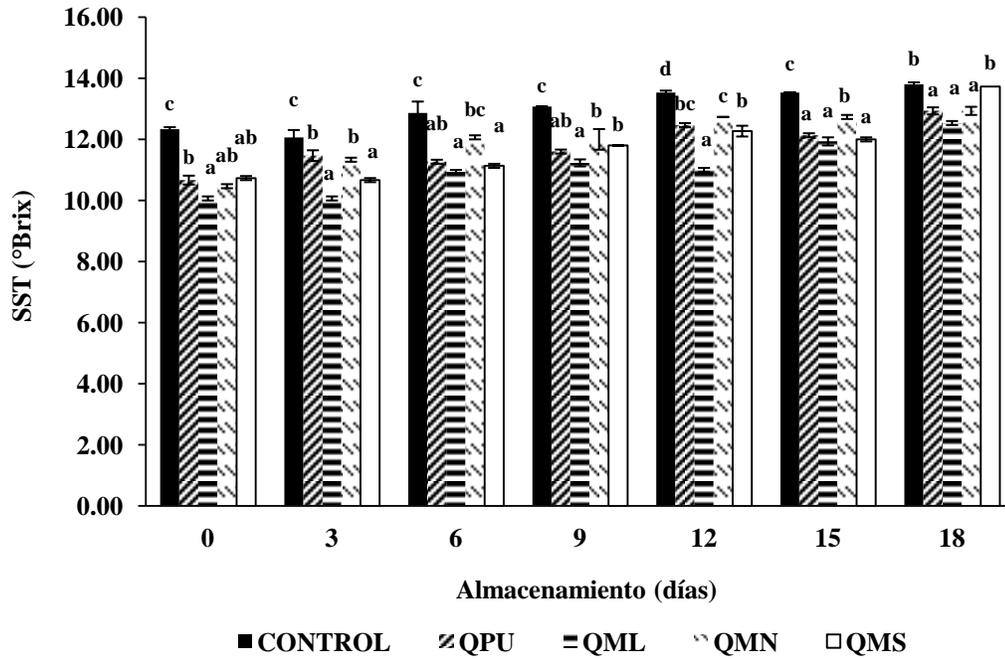


Figura 20. SST de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

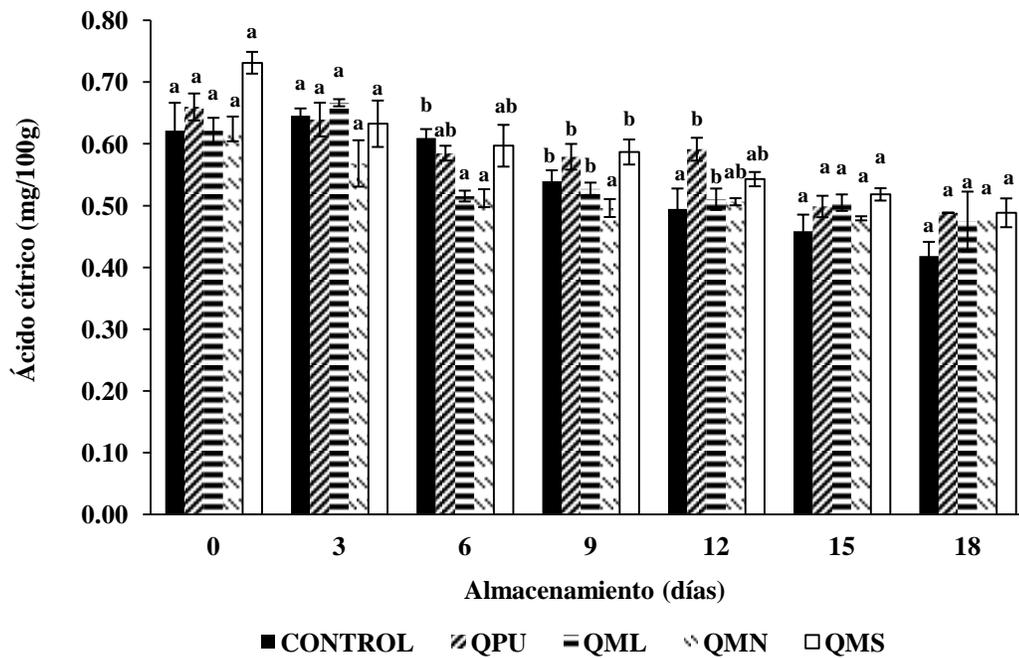


Figura 21. Acidez de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

En las evaluaciones de pH, los valores oscilaron entre 3.65 – 3.76, de acuerdo a lo reportado en la literatura (Montero-Calderón et al., 2008; Benítez et al., 2014; Russo et al., 2014). Sin embargo, la fruta fresca cortada recubierta con QML y QMN presentó los valores más altos, probablemente por el pH de las soluciones formadoras de recubrimiento (ML = 5.96 ± 0.04 , MN = 4.99 ± 0.06). Al final del almacenamiento, los valores de pH de la fruta recubierta con QML y QMN fueron más altos (3.90 ± 0.02 y 3.93 ± 0.02 , respectivamente), en comparación con los valores de la fruta control (3.77 ± 0.01) y de la recubierta con QPU (3.85 ± 0.03) y QMS (3.80 ± 0.02). En general, hubo una tendencia a incrementar los valores de pH ($P < 0.05$) en todos los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento y esto podría estar relacionado con la disminución en el contenido de ácido cítrico (Benítez et al., 2014). Los resultados se muestran en la Figura 22.

Los resultados respecto al contenido de ácido ascórbico de la fruta recubierta y el control, se muestran en la Figura 23. El contenido de ácido ascórbico inicial osciló entre 34.44 – 40.39 mg/ 100 g, similar a los valores encontrados en previos reportes (Bierhals et al., 2011; Montero-Calderón et al., 2010). Por otro lado, Mantilla y colaboradores (2013) reportan valores superiores de ácido ascórbico para la piña fresca cortada (0.59 – 0.82 mg/mL), la diferencia podría atribuirse a factores tales como; la variedad del producto, temporada de cosecha, condiciones de envasado, entre otras (Liu y Liu 2014; Montero-Calderón et al., 2008). Durante el almacenamiento, se observó una reducción en el contenido de ácido ascórbico de todos los tratamientos. Los RCs de QPU, QML y QMN no evitaron la pérdida de ácido ascórbico y no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre éstos y el control al final del almacenamiento, de acuerdo a lo reportado por Mantilla et al., (2013). Por el contrario, las muestras recubiertas con QMS fueron eficaces en disminuir ($P < 0.05$) la pérdida de ácido ascórbico (22.42 mg/ 100 g, en el día 18), resultados similares fueron encontrados en kiwi recubierto con *Aloe vera*, donde, Benítez y colaboradores (2015) encontraron que los recubrimientos a base de este polisacárido reducen la degradación del ácido ascórbico.

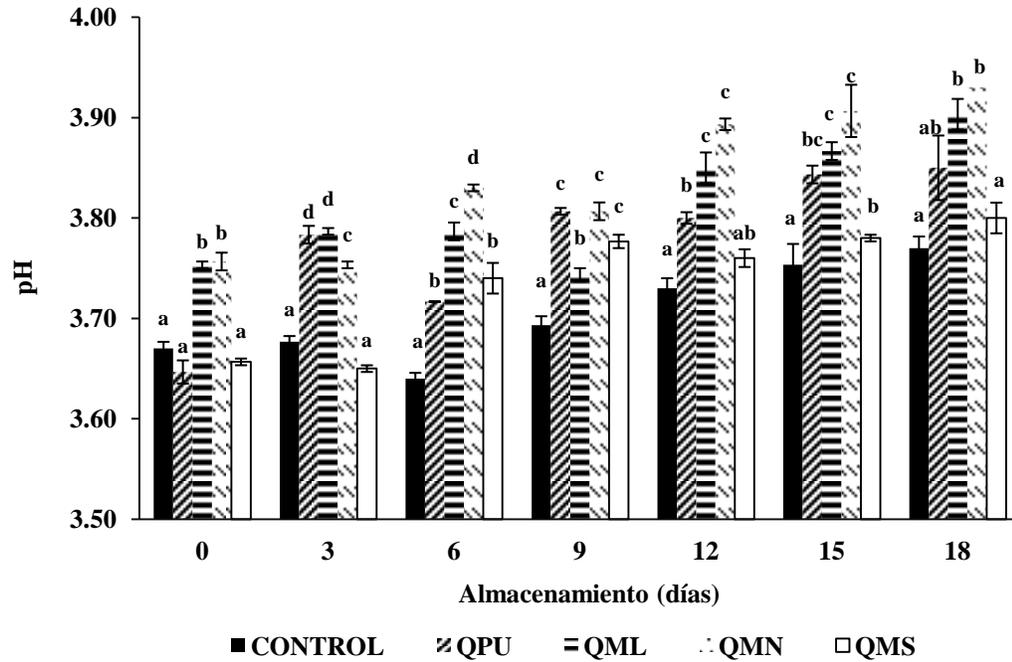


Figura 22. pH de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

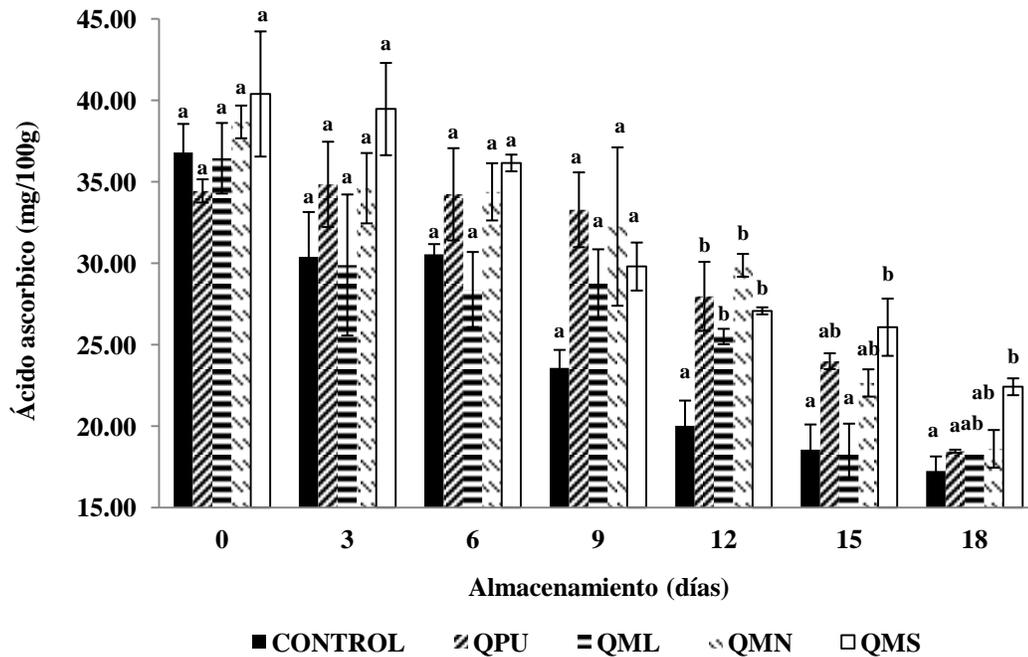


Figura 23. Vitamina C de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

7.4.2 Análisis microbiológico

7.4.2.1 Recuento de mesófilos aerobios totales, hongos, levaduras y psicrótrofos

En las evaluaciones microbiológicas, los resultados mostraron que la aplicación de los RCs capa por capa disminuyó significativamente ($P < 0.05$) los niveles microbianos iniciales (Tabla 7). En el caso de los recuentos de hongos y levaduras, éstos oscilaron entre 1.43 – 2.68 log UFC/g para las muestras recubiertas y 3.07 log UFC/g para el control. Por otro lado, los recuentos de mesófilos aerobios totales fueron de 1.63 UFC/g para el control mientras que en las frutas recubiertas las cuentas fueron de 1.36 – 1.60 log UFC/g. No se detectaron cuentas de microorganismos psicrótrofos en las evaluaciones iniciales. La reducción de los niveles microbianos iniciales en muestras recubiertas se puede atribuir a la barrera formada alrededor de la superficie de la fruta y a la actividad antimicrobiana de los polímeros, particularmente el Q (Sipahi et al., 2013; Mantilla et al., 2013; Hye-Yeon et al., 2013; Dutta et al., 2009).

Durante el almacenamiento, los recuentos microbianos se incrementaron significativamente ($P < 0.05$) para todos los tratamientos y al final almacenamiento (día 18), las cuentas de hongos y levaduras, mesofilos aerobios totales y psicrotrofos fueron más altas en el control que en las frutas recubiertas (Tabla 7). Los niveles microbianos de hongos y levaduras fueron de 3.17 – 5.04 log UFC/g para las frutas recubiertas y de 6.62 log UFC/g para el control. En el caso de las cuentas de mesofilos aerobios totales, los niveles microbianos fueron de 3.58 – 4.04 log UFC/g en la fruta tratada y de 4.67 log UFC/g en el control. Finalmente, los recuentos de psicrótrofos fueron de 2.44 – 3.79 log UFC/g para la fruta tratada y de 4.18 para las muestras sin recubrimiento. En el caso de la fruta recubierta con QMN, QML y QMS se encontró un efecto positivo en la reducción de los niveles microbianos (Tabla 7), similar a previos estudios, donde se evaluaron RCs a base de quitosán en melón (Pereira et al., 2014), y *Aloe vera* en rodajas de manzana (Hye-Yeon et al., 2013), uva (Chauhan et al., 2014) y kiwi (Benítez et al., 2015).

Hasta donde sabemos, no hay estudios de evaluaciones microbiológicas en piña fresca cortada y tratada con RCs a base de MN y ML debido a que estos polímeros no han sido muy estudiados como RCs en este tipo de productos. Por otra parte, en todos los

casos, el RC a base de QPU fue el más efectivo en reducir el desarrollo microbiano (reducciones de 3.45, 1.09 y 1.74 log UFC/g para hongos-levaduras, mesófilos aerobios, y psicrótrofos, respectivamente), y esto se puede atribuir a que el pululano no interactúa con el grupo amino (cargado positivamente) del quitosán (Kadndemir et al., 2005).

Como se mencionó anteriormente, la actividad antimicrobiana del quitosán se debe a que es un polielectrolito catiónico (Dutta et al., 2009). Por lo tanto, la interacción electrostática entre los grupos amino del quitosán y los grupos fosforilos de los fosfolípidos presentes en la membrana celular, ocasiona un daño que provoca la salida de material intracelular (Dutta et al., 2009; Lárez et al., 2008). En el caso de los hongos, el efecto del quitosán es similar, los residuos negativos de las macromoléculas expuestas en la pared, cambian la permeabilidad de la membrana plasmática, con la consecuente alteración de sus principales funciones (Lárez et al., 2008). Por lo tanto, la interacción electrostática del quitosán (catiónico) con compuestos aniónicos (tales como alginatos, pectina, proteínas y polielectrolitos inorgánicos) puede afectar a la actividad antimicrobiana del mismo. Aunque hay reportes de RC multicapa elaborados con polímeros de cargas opuestas que son efectivos para reducir el desarrollo microbiano (Brasil et al., 2012; Martiñón et al., 2014; Pereira et al., 2014; Sipahi et al., 2013; Mantilla et al., 2013), los resultados encontrados en este estudio sugieren que el uso de polímeros no iónicos como el pululano es una buena alternativa para elaborar RCs bi o multicapa y que la ausencia de una interacción electrostática (formación de complejos de polielectrolitos; mucílagos aniónicos con quitosano catiónico) permite que el quitosán mantenga su actividad antimicrobiana. En comparación con otros RCs en piña fresca cortada (Mantilla et al., 2013), el RC a base de QPU desarrollado en este estudio muestra menor actividad en la reducción de los niveles de aerobios totales, actividad similar en la reducción de psicrótrofos y, mayor actividad en la reducción de hongos y levaduras (flora principal en frutas y hortalizas). Los RCs de QML, QMN y QMS presentan un efecto similar en la reducción de los niveles de hongos y levaduras y menor actividad en la reducción de los niveles aerobios totales y psicrótrofos. La diferencia puede estar asociada con el tipo de polímero, el número de capas y la incorporación de compuestos antimicrobianos en la formulación (trans-cinamaldehído).

Tabla 7.

Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en desarrollo microbiano de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.

Días	Control	QPU	QML	QMN	QMS
Hongos y levaduras (log UFC/g)					
0	^c 3.07 ¹ (0.04) ^A	^a 1.43 (0.38) ^A	^b 2.46 (0.05) ^A	^a 1.08 (0.18) ^A	^{bc} 2.68 (0.05) ^A
3	^c 3.58 (0.04) ^B	^a 2.39 (0.08) ^B	^a 2.46 (0.12) ^A	^b 2.89 (0.06) ^B	^b 2.69 (0.09) ^A
6	^b 4.50 (0.01) ^C	^a 2.57 (0.23) ^B	^a 2.98 (0.25) ^B	^a 2.96 (0.16) ^B	^a 3.00 (0.04) ^B
9	^d 4.89 (0.02) ^D	^a 2.67 (0.06) ^{BC}	^c 3.35 (0.04) ^B	^b 3.11 (0.03) ^B	^c 3.28 (0.02) ^C
12	^d 5.56 (0.03) ^E	^a 2.81 (0.13) ^{BC}	^c 4.12 (0.06) ^C	^b 3.44 (0.10) ^C	^b 3.48 (0.04) ^D
15	^d 6.59 (0.01) ^F	^a 2.84 (0.18) ^{BC}	^a 4.42 (0.18) ^C	^b 3.98 (0.04) ^D	^{bc} 4.14 (0.02) ^E
18	^e 6.62 (0.05) ^F	^a 3.17 (0.03) ^C	^d 5.04 (0.07) ^D	^b 4.03 (0.00) ^D	^c 4.63 (0.02) ^F
Mesófilos aerobios totales (log UFC/g)					
0	^b 1.63 ¹ (0.58) ^A	^a 1.36 (0.10) ^A	^b 1.60 (0.00) ^A	^{ab} 1.48 (0.00) ^A	^{ab} 1.52 (0.07) ^A
3	^d 2.55 (0.64) ^B	^a 1.30 (0.00) ^A	^{bc} 1.56 (0.70) ^A	^c 1.60 (0.00) ^A	^b 1.48 (0.00) ^A
6	^d 3.29 (0.65) ^C	^a 1.73 (0.46) ^B	^c 2.42 (0.66) ^B	^{ab} 1.90 (0.87) ^{AB}	^{bc} 2.16 (0.28) ^B
9	^c 3.38 (0.18) ^C	^a 2.16 (0.14) ^C	^c 3.08 (0.02) ^C	^{ab} 2.33 (0.03) ^{BC}	^b 2.49 (0.10) ^B
12	^c 3.98 (0.52) ^D	^a 2.59 (0.11) ^D	^b 3.54 (0.11) ^D	^a 2.70 (0.01) ^C	^a 2.56 (0.24) ^B
15	^c 4.12 (0.05) ^D	^a 3.25 (0.12) ^E	^{bc} 3.91 (0.06) ^E	^{ab} 3.46 (0.40) ^D	^a 3.25 (0.24) ^C
18	^c 4.67 (0.05) ^E	^a 3.58 (0.04) ^F	^b 4.04 (0.02) ^E	^{ab} 3.84 (0.20) ^D	^b 3.99 (0.01) ^D
Psicrótros (log CFU/ g)					
0	^a ND ^A	^a ND ^A	^a ND ^A	^a ND ^A	^a ND ^A
3	^a 1.00 ¹ (0.00) ^B	^a ND ^A	^a 1.00 (0.00) ^B	^a 1.00 (0.00) ^B	^a ND ^A
6	^c 2.55 (0.09) ^C	^a ND ^A	^b 1.79 (0.25) ^C	^b 1.49 (0.43) ^B	^b 1.26 (0.24) ^B
9	^d 3.15 (0.45) ^D	^a 1.00 (0.00) ^B	^c 2.75 (0.15) ^D	^b 1.42 (0.10) ^B	^b 1.50 (0.17) ^B
12	^c 3.57 (0.03) ^E	^a 2.10 (0.17) ^C	^b 2.84 (0.10) ^D	^b 2.68 (0.07) ^C	^a 1.97 (0.07) ^C
15	^e 4.05 (0.07) ^F	^a 2.63 (0.02) ^D	^d 3.50 (0.11) ^E	^b 2.88 (0.83) ^C	^c 3.18 (0.06) ^D
18	^d 4.18 (0.07) ^F	^a 2.44 (0.25) ^D	^c 3.79 (0.05) ^E	^b 3.12 (0.05) ^C	^c 3.63 (0.01) ^E

¹ Desviación estándar.

^{a,b} Las medias en la fila, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B} Las medias en la columna, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

7.4.2.2 Desarrollo de microorganismos patógenos

Las bacterias patógenas como *L. monocytogenes*, *S. typhi*, *S. aureus* y *E coli* pueden crecer en frutas como melón, pera, manzana (Oliveira et al., 2014), durazno (Alegre et al., 2010), sandía, papaya (Penteado et al., 2004) y piña (Russo et al., 2014). Como se muestra en la Figura 24, las cuentas iniciales de *L. monocytogenes* fluctuaron entre 5.16 – 5.42 log UFC/g. Durante el almacenamiento, la carga microbiana se incrementó significativamente en la mayoría de los tratamientos ($P < 0.05$). Sin embargo, *L. monocytogenes* fue incapaz de crecer la fruta tratada con QPU (5.39 ± 0.12 log UFC/g). En comparación con el control (6.33 ± 0.02 log UFC/g), el desarrollo de este microorganismo, disminuyó significativamente en la fruta recubierta con QMS (5.93 ± 0.01 log UFC/g) y ligeramente en la tratada con QMN (6.12 ± 0.07 log UFC/g) y QML (6.22 ± 0.01 log UFC/g). Estos resultados mostraron que la piña fresca cortada puede ser

un sustrato adecuado para el desarrollo de este microorganismo incluso a bajas temperaturas, y que los RCs puede reducir o inhibir su desarrollo (Penteado et al, 2004; Russo et al, 2014).

Por otro lado, las cuentas de *S. typhi* (iniciaron en 5.99 – 6.17 log UFC/g) disminuyeron significativamente durante el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$) en todos los tratamientos (Figura 25). En los días 5 y 7, la fruta recubierta con QPU mostró la carga microbiana más baja ($P < 0.05$) con valores de 5.26 ± 0.02 y 5.12 ± 0.05 log UFC/g, respectivamente. Por otro lado, la carga microbiana de la fruta recubierta con QMN, QML y QMS osciló entre 5.43 – 5.55 log CFU/g, mientras que la fruta control presentó valores de 5.80 ± 0.05 UFC/g, al final del almacenamiento (día 7). Estos resultados mostraron que *S. typhi* puede sobrevivir pero no crecer a 4 °C en la piña fresca cortada, similar a lo encontrado en reportes previos (Alegre et al., 2010). Además, nuestros resultados confirman que los RC a base de polímeros iónicos y no iónicos, tales como QPU son una alternativa eficaz para mejorar la calidad microbiológica de la piña fresca cortada.

En el caso de *S. aureus* los valores iniciales fluctuaron entre 5.82 – 6.26 log UFC/g, con un decremento significativo ($P < 0.05$) en todos los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento (Figura 26). En las evaluaciones del día 7, se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos, los valores más altos de *S. aureus* los presentó la fruta control (5.51 ± 0.26 log UFC/g), seguida por la tratada con QML (5.17 ± 0.01 log UFC/g) y QMN (5.00 ± 0.00 log UFC/g). La carga microbiana más baja la presentó la fruta tratada con QMS y QPU con valores de 4.98 ± 0.02 y 4.89 ± 0.05 log UFC/g, respectivamente.

Finalmente, en la fruta inoculada con *E. coli* los valores iniciales fluctuaron entre 6.00 – 6.22 log UFC/g, seguidos por un decremento significativo ($P < 0.05$) durante los 7 días de almacenamiento (Figura 27). No se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) entre la fruta tratada con los diferentes RC y el control durante los días 2, 5 y 7, y al terminar el tiempo de evaluación (día 7) las cuentas de este microorganismos fluctuaron entre 5.00 – 5.10 log UFC/g. La falta de actividad de los RC frente a *E. coli* puede estar asociada con la resistencia de este microorganismo.

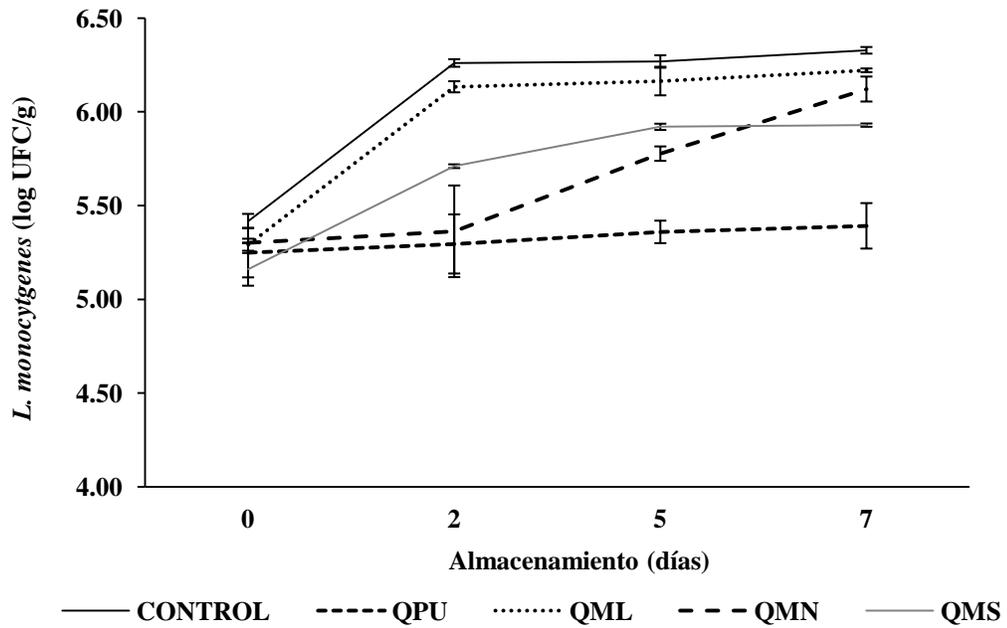


Figura 24. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de *L. monocytogenes* en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.

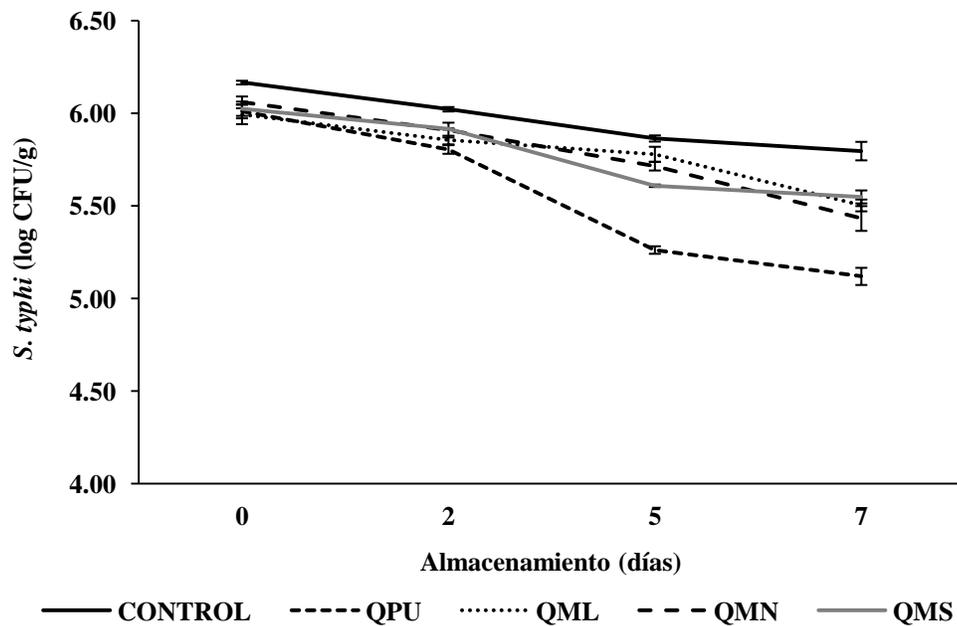


Figura 25. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de *S. typhi* en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.

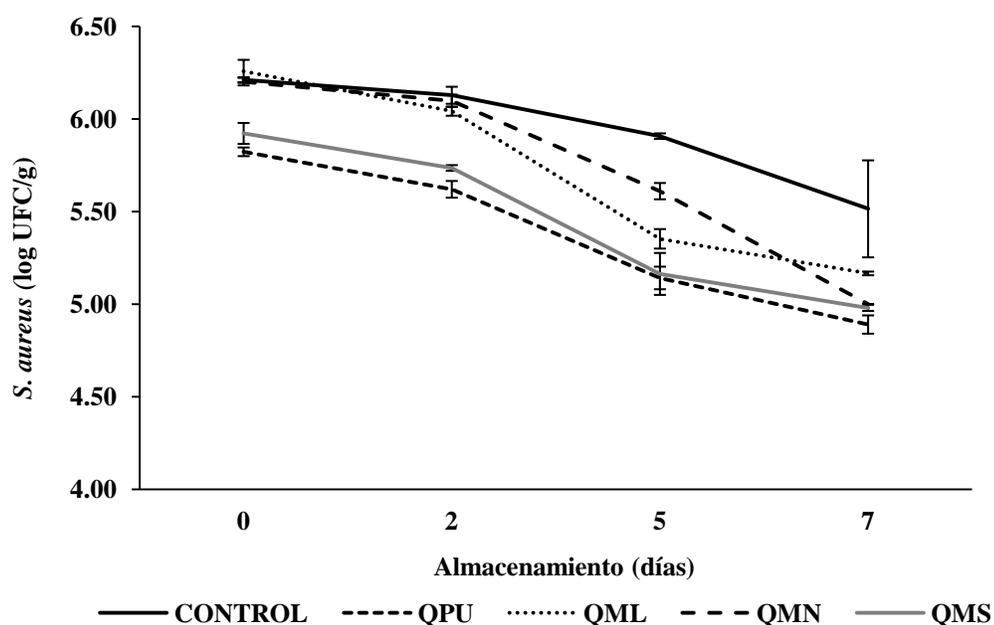


Figura 26. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de *S. aureus* en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.

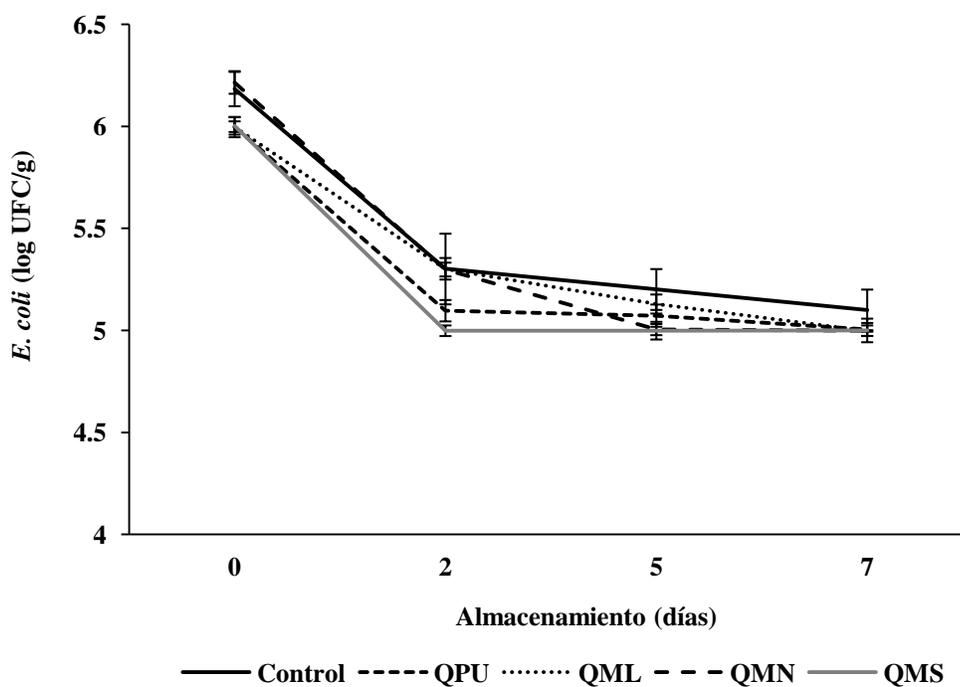


Figura 27. Efecto de recubrimientos comestibles capa por capa en el desarrollo de *E. coli* en piña fresca cortada después de 7 días de almacenamiento a 4 °C.

7.4.3 Evaluaciones sensoriales

7.4.3.1 Color, olor, sabor, textura, índice de decaimiento y aceptación general

Las propiedades sensoriales son un factor muy importante para las frutas recubiertas ya los RCs pueden tener un impacto en los atributos típicos del producto y esto puede influir en la aceptación o rechazo del mismo (Azarakhsh et al., 2014). En las evaluaciones iniciales, las frutas frescas cortadas con y sin recubrimiento presentaron puntuaciones de bueno a excelente (4.30 – 5.00), lo cual indica que los RCs no afectaron el color típico del producto, contrario a lo reportado por Mantilla et al., (2013). Durante el almacenamiento, después del día 3, las puntuaciones disminuyeron en todos los tratamientos, particularmente en las frutas sin recubrimiento ($P < 0.05$). Sin embargo, en el día 18, las muestras recubiertas presentaron las puntuaciones más altas en comparación con el control (2.7 – 3.2 y 2.3, respectivamente), debido a que los panelistas indicaron pardeamiento superficial (presencia de “manchas marrón”) y oscurecimiento, en este último (Figuras 28 y 34), mientras que la fruta recubierta presentaba un color característico, sin oscurecimiento ni pardeamiento visual. Las principales causas de los cambios en este parámetro son debidos al pardeamiento oxidativo (por degradación y oxidación de ácido ascórbico) y enzimático (polifenoloxidasas). Esto concuerda con las evaluaciones colorimétricas realizadas (Tabla 6), donde se encontraron pequeños cambios en los valores de a^* y L^* , que son un indicador de la ausencia de pardeamiento oxidativo y oscurecimiento (Brasil et al., 2012). Resultados similares fueron encontrados en piña (Mantilla et al., 2013), papaya (Brasil et al., 2012) y melón fresco cortado (Martíñon et al., 2014).

Las evaluaciones iniciales del parámetro de olor, las frutas tratadas y no tratadas presentaron evaluaciones de bueno a excelente (3.90 – 4.50). Las puntuaciones de este parámetro se mantuvieron estables durante 12 días en todos los tratamientos, sin embargo, en los días 15 y 18, el control presentó las puntuaciones más bajas (2.20 y 1.30, respectivamente), probablemente por el crecimiento microbiano desarrollado en la superficie de la fruta (que causan malos olores), un efecto similar fue reportado por Martíñon et al., (2014) en melón cortado. Por otra parte, las frutas recubiertas con QPU,

QMN, QMS y QML presentaron las puntuaciones más altas (3.00 – 3.40), porque los RCs contribuyeron a retrasar el deterioro microbiano, conservando el olor original de la fruta (Figura 29) (Benítez et al., 2013; Martiñón et al., 2014).

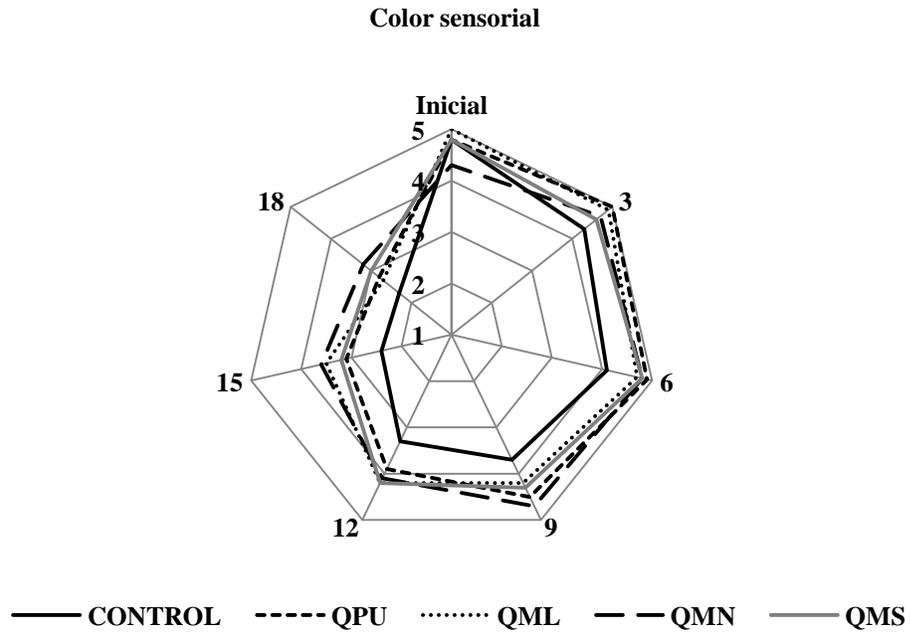


Figura 28. Color sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

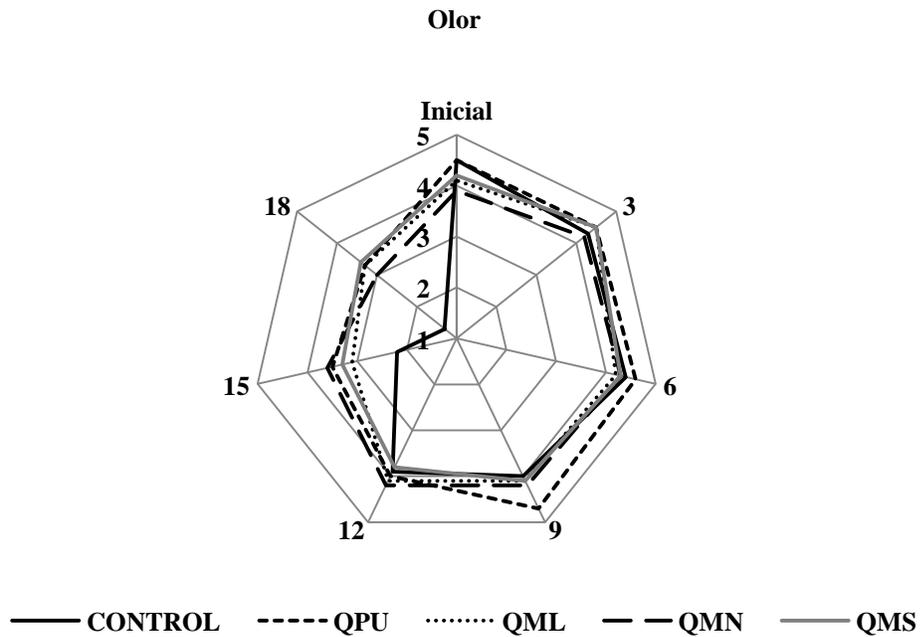


Figura 29. Olor de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

Las evaluaciones de sabor fluctuaron entre 3.30 – 4.90 y, el RC a base de QMN presentó los resultados iniciales más bajos debido a que los panelistas detectaron un sabor particular impartido por el NM (Figura 30), un efecto similar fue reportado por Del-Valle et al., (2005) en un estudio de RCs a base de mucílago de cactus en fresa. Sin embargo, el sabor característico impartido por el RC de QMN en las evaluaciones iniciales no se detectó en los análisis posteriores. En los días 15 y 18, las puntuaciones de sabor disminuyeron significativamente ($P < 0.05$), sin embargo, al final del almacenamiento, la piña fresca cortada recubierta presentó las puntuaciones más altas (2.80 – 3.22) en comparación con el control (1.80 ± 0.25). De acuerdo con el reportado por Mantilla y colaboradores (2013), los cambios en el sabor durante el almacenamiento se pueden atribuir al crecimiento o deterioro microbiano.

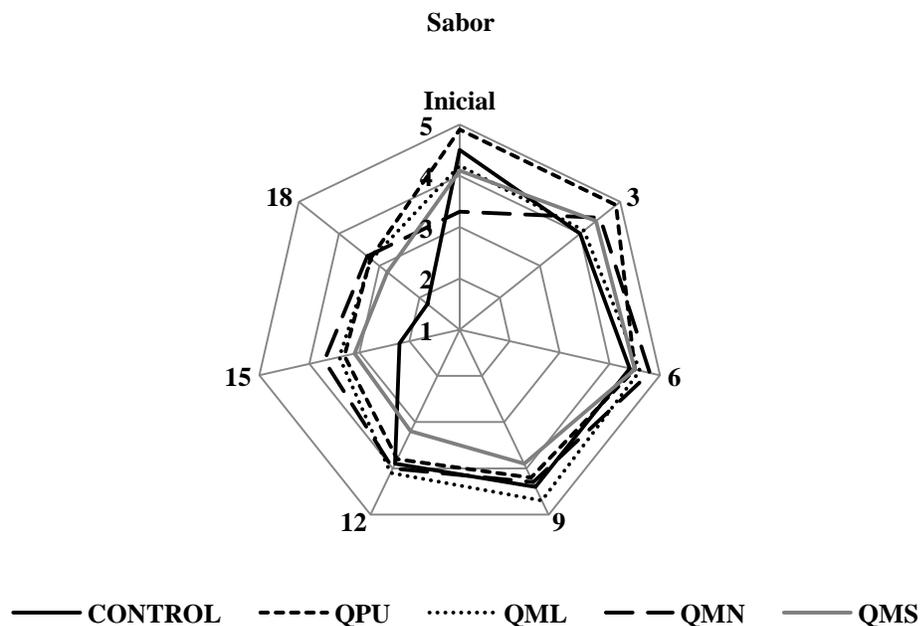


Figura 30. Sabor de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

Respecto a las evaluaciones iniciales de textura, todas presentaron evaluaciones de bueno a excelente (3.90 – 4.80). Este parámetro se mantuvo estable durante 12 días y solo se observaron diferencias en los días 15 y 18. Al final del almacenamiento, el control presentó las puntuaciones más bajas (2.70 ± 0.15) mientras que las muestras recubiertas presentaron los valores más altos ($P < 0.05$), los cuales oscilaron entre 3.00 – 3.89 (Figura

31). De acuerdo con estudios previos (Brasil et al., 2012; Pereira et al., 2014), la principal causa del ablandamiento de la fruta fresca cortada es debido a la deshidratación de la superficie y el aumento de la tasa de respiración, estos resultados apoyan las observaciones encontradas en las evaluaciones de firmeza y pérdida de peso (Figuras 18 y 19). Esto concuerda con lo reportado por Mantilla et al. (2013) y Azarakhsh et al. (2014), quienes evaluaron el efecto de RCs en la firmeza de la piña fresca cortada. Contario a lo reportado por Benítez (2013), nuestro RC capa por capa si mostró un efecto positivo en disminuir el ablandamiento de la fruta.

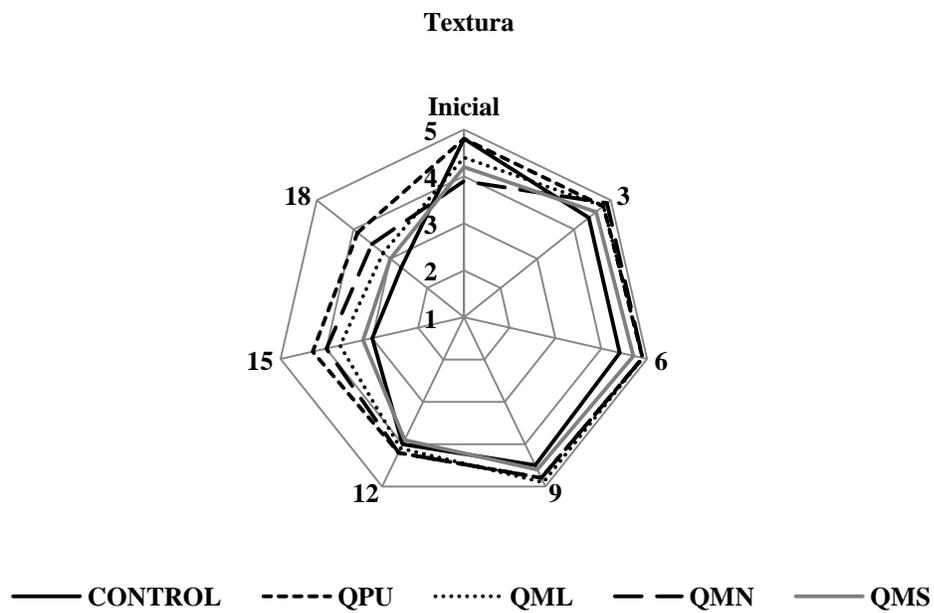


Figura 31. Textura de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

En el caso del índice de decaimiento (IDC), todos los tratamientos presentaron puntuaciones de 1, lo cual indica que el producto no presentó daño visible causado por hongos. El IDC se mantuvo constante durante 9 días, sin embargo, a partir del día 12, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En el día 18, el índice de decaimiento se incrementó ligeramente en las frutas recubiertas con QML, QMN, QMS (IDC, 1.40 – 1.50), mientras que las muestras recubiertas con QPU se mantuvieron estables ($P > 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento (IDC, 1.00 – 1.10). Por el contrario, al final del almacenamiento, el control presentó el IDC más alto

(2.20 ± 0.29), lo cual indica que los RCs capa por capa ayudaron a retrasar los daños causados por hongos (Figura 32) (Mantilla et al., 2013; Pereira et al., 2014; Brasil et al., 2012; Sipahi et al., 2013).

Índice de decaimiento

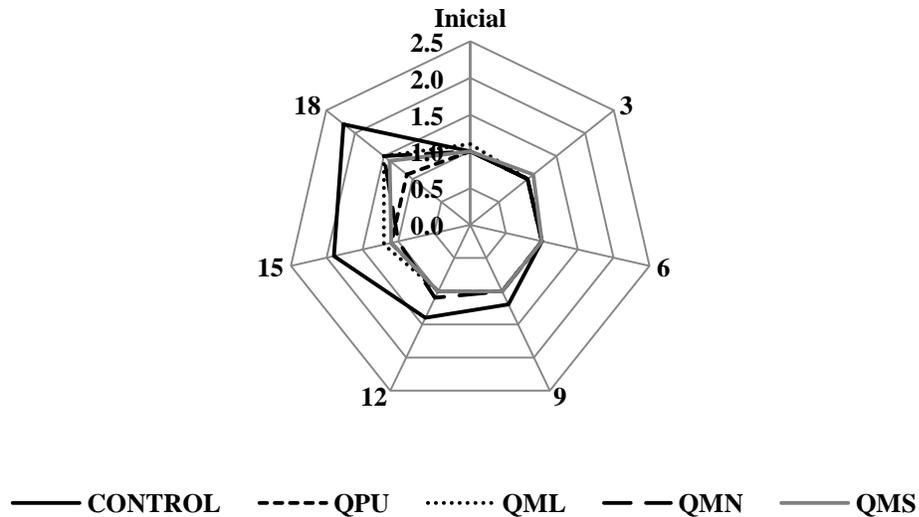


Figura 32. Índice de decaimiento de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

Finalmente, en los niveles de aceptación sensorial general, los valores iniciales fluctuaron entre de 3.7 – 4.8, los valores más altos los presentaron los RC a base de QPU y el control, mientras que las frutas recubiertas con QMN presentaron las evaluaciones más bajas (Figura 33). Después del día 12, hubo una disminución en las puntuaciones de los diferentes tratamientos, sin embargo, las frutas recubiertas con QPU, QMN, QML y QMS fueron aceptadas por los consumidores durante 18 días y no hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la fruta recubierta al final del almacenamiento. En contraste, las muestras control sólo fueron aceptadas por 12 días (Figura 33). En comparación con lo reportado por Mantilla et al., (2013), Los RCs evaluados en este estudio se extendieron la aceptación sensorial por 5 días más.

Aceptación sensorial general

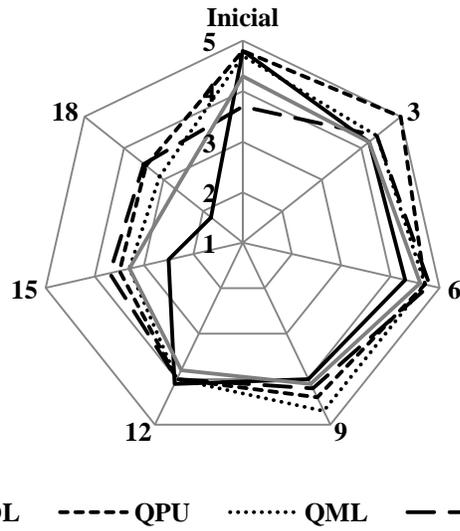


Figura 33. Aceptación sensorial general de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

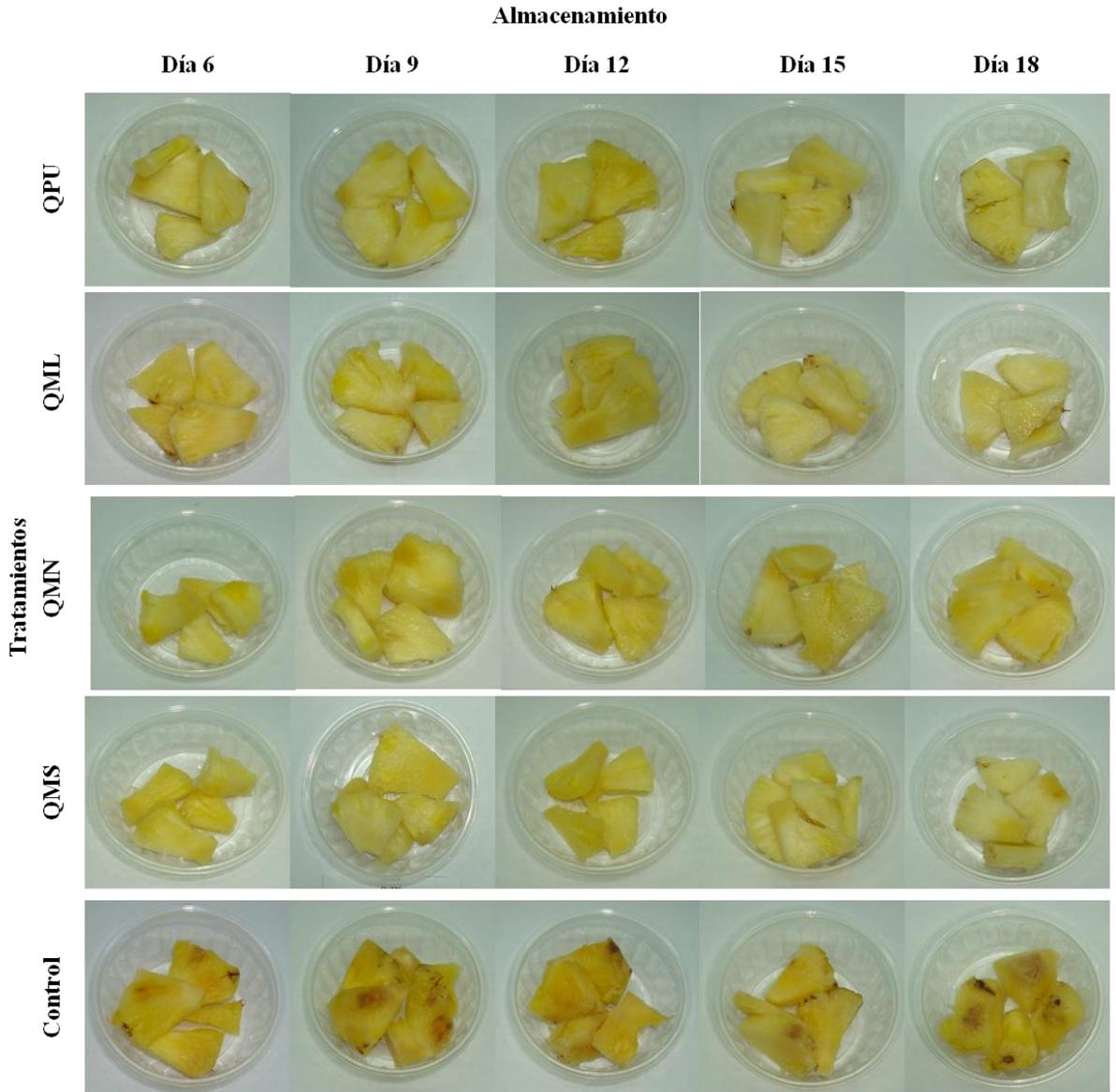


Figura 34. Piña fresca cortada recubierta y control, almacenada durante 6, 9, 12, 15 y 18 días a 4 °C.

8. CONCLUSIONES

- El ML presentó los rendimientos más altos ($6.0 \pm 0.38 \%$), seguido por el MS ($1.53 \pm 0.14 \%$) y el MN ($0.3 \pm 0.12 \%$).
- En las evaluaciones bromatológicas se determinó que los mucílagos están compuestos principalmente por fibra dietética soluble. Las variaciones en el contenido de ceniza, proteína, grasa y fibra dependen del tipo de mucílago (MN, ML y MS), de la variedad de planta utilizada y del método de extracción.
- En los análisis de espectrofotometría de infrarrojo (FTIR) se encontraron señales (bandas) similares en cuanto a frecuencia e intensidad en los diferentes mucílagos; en general se trata de grupos característicos de polisacáridos pécticos.
- Se lograron elaborar 5 formulados (soluciones formadoras de recubrimiento) a base de quitosán, pululano y mucílagos de linaza, nopal y sábila para recubrir la piña fresca cortada.
- Las SFR presentaron rangos de viscosidad muy diversos ($65.33 - 2111.00$ Cp), pHs ácidos ($3.65 - 6.68$) y valores de opacidad variables ($1.19 - 72.22 \%$). Las SFR a base de MN (72.22% ; coordenadas $a^* = -1.66 \pm 0.02$ y $b^* = 24.16 \pm 0.08$) y ML (42.97% ; coordenadas $a^* = 2.56 \pm 0.01$ y $b^* = 0.04 \pm 0.02$) presentaron la opacidad más alta, debido al color característico de los mucílagos.
- La SFR a base de quitosán presentó actividad antimicrobiana contra *L. monocytogenes*, *S. typhi*, *S. aureus* y *E coli* (halos de inhibición >15 mm). La SFR a base de MN presentó ligera actividad contra *L. monocytogenes* y *S. aureus* (halos de inhibición <15 mm). Las SFR de PU, ML y MS no presentaron actividad.
- Las SFR capa por capa (QPU, QMN, QMS y QML) presentaron actividad contra los cuatro patógenos evaluados (atribuida al quitosán). Los halos de inhibición más altos los presentó el RC a base de QPU. Lo anterior se atribuye a la falta de interacción electrostática entre estos polímeros.
- La aplicación de los RC disminuyó significativamente la pérdida de peso ($13.78 - 29.96 \%$) y los cambios de firmeza ($68.94 - 97.73 \%$), los RCs a base de QMN y QMS presentaron mayor efectividad.

- La RCs fueron efectivos en retrasar los cambios en las coordenadas de color (L^* y a^*) y en el contenido de SST.
- Los RCs de QML y QMN incrementaron ligeramente el pH de la fruta.
- Los RCs disminuyeron la pérdida de vitamina C entre un 6.99 – 29.96 %, el RC capa por capa a base de QMS fue el más efectivo.
- Los RCs no influyeron en el parámetro de acidez.
- Los RCs capa por capa disminuyeron significativamente las cuentas de mesófilos aerobios (reducción de 0.63 – 1.09 log, respecto al control), psicrótrofos (reducción de 0.39 a 1.74 log) y de hongos-levaduras (reducción de 1.58 – 3.45 log), el RC a base de QPU fue el más efectivo en reducir el desarrollo microbiano.
- Los RCs mejoraron las propiedades organolépticas de color, olor, sabor, textura. Los RCs a base de QPU y QMN fueron los más aceptados. La efectividad general sensorial presentó el siguiente orden; QPU, QMN, QML y QMS.
- La aplicación de los RCs disminuyó significativamente el índice de decaimiento de las fresas hasta en un 100 %, el RC capa por capa a base de QPU fue el más efectivo.
- En general, los RCs capa por capa a base de QPU, QML, QMN y QMS mejoraron la calidad y prolongaron la vida útil de la piña fresca cortada de 12 (control) a 18 días (frutas tratada).
- Los RCs a base de QPU, QML, QMN y QMS tienen potencial de aplicación en la industria alimentaria para extender la vida útil y mantener la calidad de los productos listos para consumo, tales como, la piña fresca cortada.

9. RECOMENDACIONES

- Caracterizar los mucílagos por cromatografía de gases.
- Caracterizar contenido de azúcares totales, neutros y ácidos urónicos.
- Realizar análisis microscópicos de los recubrimientos comestibles y mediciones de grosor.
- Realizar evaluaciones de la tasa de respiración en la fruta fresca cortada.
- Realizar estudios enzimáticos en la fruta fresca cortada.
- Capacitar y realizar evaluaciones sensoriales con panelistas entrenados.
- Realizar análisis de costos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alegre I, Abadias M, Anguera M, Usall J, Viñas I. 2010. Fate of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* and *Listeria innocua* on minimally-processed peaches under different storage conditions. *Food Microbiol.* 27: 862–868.
- Alikhani M. 2014. Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. *Food Science & Nutrition.* 2(3): 210–217.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis (13th ed). Washington, DC: AOAC International.
- Ammar I., Bardaa S., Mzid M., Sahnoun Z., Rebaï T., Attia H., Ennouri M. 2015. Antioxidant, antibacterial and in vivo dermal wound healing effects of *Opuntia* flower extracts. *Int J Biol Macromol.* 81: 483–490.
- Antoniolli LR, Benedetti BC, Souza Filho MSM. 2003. Effect of calcium chloride on quality of fresh-cut ‘Pérola’ pineapple. *Pesq Agropec Bras.* 38: 1105–10.
- Arnon H, Granit R, Porat R, Poverenov E. 2015. Development of polysaccharides-based edible coatings for citrus fruits: A layer-by-layer approach. *Food Chem.* 166: 465–472.
- Avachat AM, Dash RR, Shrotriya SN. 2011. Recent investigations of plant based natural gums, mucilages and resins in novel drug delivery systems. *Ind J Pharm Edu Res.* 45(1): 86–99.
- Azarakhsh N, Osman A, Ghazali HM, Tan CP, Mohd Adzahan N. 2012. Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. *Int Food Res J.* 19: 279–285.
- Azarakhsh N, Osman A, Ghazali HM, Tan CP, Mohd AN. 2014. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biol Technol.* 88: 1–7.
- Benítez S, Achaerandio I, Sepulcre F, Pujolá M. 2013. *Aloe vera* based edible coatings improve the quality of minimally processed “Hayward” kiwifruit. *Postharvest Biol Technol.* 81: 29–36.

- Benítez S, Soro L, Achaerandio I, Sepulcre F, Pujolá M. 2014. Combined effect of a low permeable film and edible coatings or calcium dips on the quality of fresh-cut pineapple. *J Food Process Eng.* 37: 91–99.
- Benítez S, Achaerandio I, Pujolá M, Sepulcre F. 2015. *Aloe vera* as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices. *LWT - Food Sci Technol.* 61: 184–193.
- Bierhals VS, Chiumarelli M, Hubinger MD. 2011. Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas Comosus* L. Merrill cv “Pérola”). *J Food Sci.* 76: 62–72.
- Brasil IM, Gomes C, Puerta-Gomez A, Castell-Perez ME, Moreira RG. 2012. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT-Food Sci Technol.* 47: 39–45.
- Chang-Liang H., Ben-Dong F., Hai-Qing S., Xiao-Lin J. and Xu-Bin W. 2011. Fumaric acid, an antibacterial component of *Aloe vera* L. *Afr. J. Biotechnol.* 10(15): 2973–2977.
- Chauhan S, Gupta KC, Agrawal M. 2014. Application of biodegradable *aloe vera* gel to control post harvest decay and longer the shelf life of grapes. *Int J Curr Microbiol App Sci.* 3(3): 632–642.
- Chung, Y. C. and Chen C. Y.. 2008. Antibacterial characteristics and activity of acid-soluble chitosan. *Bioresour Technol.* 99: 2806–2814.
- Campos CA, Gerschenson LN, Flores SK. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food Bioprocess Technol.* 4: 849–75.
- Catalá R., Almenar E. y Gavara R. 2007. Innovaciones y tendencias en el envasado de frutas y hortalizas. *V Congreso Iberoamericano de Tecnología postcosecha y Agroexportaciones.* 979–984.
- Corbo MR, Speranza B, Campaniello D, Amato DD, Sinigaglia M. 2010. Fresh-cut fruits preservation: Current status and emerging technologies. *Curr Res Technol Educ Top Appl Microbiol Microb Biotechnol.* 1143–1154.
- Correa-Cerón RC. 2015. Elaboración de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza (*Linum usitatissimum*) y quitosán para extender la vida de anaquel de

- melón (*Cucumis melo*) fresco cortado. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- De Ancos B, González-Peña D, Colina-Coca C, Sánchez-Moreno C. Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Rev Iber Tecnología Postcosecha*. 16(1): 8–17.
- Del-Valle V, Hernández-Muñoz P, Guarda A, Galotto MJ. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem*. 91: 751–756.
- Di Scala K, Vega-Gálvez A., Ah-Hen K, Nuñez-Mancilla Y., Tabilo-Munizaga G., Pérez-Won M., Giovagnoli C. 2013. Chemical and physical properties of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel stored after high hydrostatic pressure processing. *Food Sci Technol*, Campinas. 33(1): 52–59.
- Dutta PK, Tripathi S, Mehrotra GK, Dutta J. 2009. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chem*. 114:1173–82.
- Eroglu E, Torun M, Dincer C, Topuz A. 2014. Influence of pullulan-based edible coating on some quality properties of strawberry during cold storage. *Packag Technol Sci*. 27:831–8.
- Escobedo-Lozano AY, Domard A, Velázquez CA, Goycoolea FM, Argüelles-Monal WM. 2015. Physical properties and antibacterial activity of chitosan/acemannan mixed systems. *Carbohydr Polym*. 115: 707–714.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2010. <http://www.fao.org/home/es/>
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Disponible: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> [Revisado 10 de Octubre 2016].
- Falguera V, Quintero JP, Jiménez A, Muñoz JA, Ibarz A. 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci Technol*. 22: 292–303.
- Fakhouri FM, Martelli SM, Caon T, Velasco JI, Mei LHI. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biol Technol*. 109: 57–64.

- Fedeniuk, R., Biliaderis, C. 1994. Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum*) mucilage. *J. Agric. Food Chem.* 42(1): 240–247.
- Fekri N., Khayami M., Heidari R., Jamee R. 2008. Chemical analysis of flaxseed, sweet basil, dragos head and quience seed mucilages. *Res J Biol Sci.* 3(2): 166–170.
- Femina A., Sánchez S.E., Simal S., Rossello C. 1999. Compositional features of polysaccharides from Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) plant tissues. *Carbohydr Polym.* 39: 109–117.
- Fox D.I., Pichler T., Yeh D.H., Alcantar N.A. 2012. Removing Heavy Metals in Water: The Interaction of Cactus Mucilage and Arsenate (As (V)). *Environ Sci Technol.* 46: 4553–4559.
- Fernández Valdés D, Bautista BS, Ocampo RA, García PA, Falcón RA. 2015. Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* (3): 52–57.
- Gabri RG, Melo PAM, Peruch CG, Souza CR, Gomide OC. 2014. Antimicrobial and aromatic edible coating on fresh-cut pineapple preservation. *Ciência Rural.* 44(6): 1119–1125.
- Gebresamuel N, Gebre M. 2012. Comparative physico-chemical characterization of the mucilages of two cactus pears (*Opuntia* spp.) obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *J Biomater Nanobiotechnol.* 3: 79–86.
- González-González L.R. 2011. Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura. *Investigación Universitaria multidisciplinaria.* 10: 131–138.
- Guillén F, Díaz-Mula HM, Zapata PJ, Valero D, Serrano M, Castillo S, Martínez-Romero D. 2013. *Aloe arborescens* and *Aloe vera* gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest Biol Technol.* 83: 54–57.
- Han C., Lederer C., McDaniel M., Zhao Y. 2005. Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings. *J Food Sci.* 70(3): 172–178.

- Helander IM, Nurmiäho Lassila EL, Ahvenainen R, Rhoades J. and Roller S. 2001. Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *Int J Food Microbiol.* 71: 235–244.
- IFPA, (International Fresh-cut Produce Association). <http://www.fresh-cuts.org>.
- James J.B. y Ngarmasak T. 2010. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide. Rap publication 2010/16. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok.
- Jiao Y., Fu Y., Jiang Z. 2004. The Synthesis and Characterization of Poly (Ethylene Glycol) Grafted on Pullulan. *J Appl Polym. Sci.* 91: 1217–1221
- Kaewmanee T, Bagnasco L, Benjakul S, Lanteri S, Morelli CF, Speranza G, Cosulich ME. 2014. Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax. *Food Chem.* 148: 60–69.
- Lárez V.C. 2008. Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola.* 8(1): 1–22.
- Lawrence R, Tripathi P, Jeyakumar E. 2009. Isolation, purification and evaluation of antibacterial agents from *Aloe vera*. *Braz J Microbiol.* 40: 906–915.
- Leathers T. D. 2003. Biotechnological production and applications of pullulan. *Appl Microbiol Biotechnol.* 62(5-6):468–473.
- Leyva L.N., Heredia J.B., Contreras A.L.A., Muy R.M.D., Campos S.J.P., González L.I. 2011. Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad general de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) fresca cortada. *Rev. Venez. Cienc. Tecnol. Aliment.* 2 (1): 001–015.
- Li B, Kennedy JF, Peng JL, Yie X, Xie BJ. 2006. Preparation and performance evaluation of glucomannan-chitosan-nisin ternary antimicrobial blend film. *Carbohydr Polym.* 65(4): 488–494.
- Li Y, Chen XG, Liu N, Liu CS, Liu CG, Meng XH, Yu LJ, Kenendy JF. 2007. Physicochemical characterization and antibacterial property of chitosan acetates. *Carbohydr Polym.* 67: 227–232.
- Liu H, Du Y, Wang X, Sun L. 2004. Chitosan kills bacteria through cell membrane damage. *Int J Food Microbiol.* 95: 147– 155.

- Liu C, Liu Y. 2014. Effects of elevated temperature postharvest on color aspect, physiochemical characteristics, and aroma components of pineapple fruits. *J Food Sci.* 79: 2409–2414.
- López R.J.V. 2014. estudio bromatológico y microbiológico del mucilago de *aloe vera* y de fertilidad del suelo de un cultivo ubicado en el Municipio de Belén de Umbría del Departamento de Risaralda, Colombia. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 57–60.
- Mantilla N, Castell-Perez ME, Gomes C, Moreira RG. 2013. Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *LWT - Food Sci Technol.* 51: 37–43.
- Martínez-Romero D, Albuquerque N, Valverde JM, Guillén F, Castillo S, Valero D y Serrano M. 2006. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: A new edible coating. *Postharvest Biol Technol.* 39: 93–100.
- Martiñon ME, Moreira RG, Castell-Perez ME, Gomes C. 2014. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.) stored at 4 °C. *LWT - Food Sci Technol.* 56: 341–350.
- Matta FF., Martelli SM., Caon T., Velasco JI. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biol Tech.* 109: 57–64.
- Medina G.A. 2006. Influencia del mantenimiento de la cadena de frío controlada en la vida útil, calidad microbiológica, fisicoquímica y organoléptica en fresas tipo exportación. Tesis de Licenciatura. [Revisado: 27/Febrero/12]. Disponible: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis266.pdf>
- Mercado S.E. 2006. El procesado mínimo de frutas y hortalizas en México. I Simposio Iberoamericano de vegetales frescos cortados. San Pedro, Brasil. [Revisado: 9/Diciembre/12]. Disponible: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/eventos/palestras/Edmundo.pdf>
- McGarvie D, Parolis H. 1981a. Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydr Res.* 88: 305–314.

- McGarvie D, Parolis H. 1981b. The acid-labile peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydr Res.* 94: 57–65.
- Miranda S.P., Cárdenas G., López D., y Lara S. 2003. Comportamiento de películas de quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Rev. Soc. Quím. Méx.* 47(4): 331–336.
- Montero C.A. 2008. Internal quality profile and influence of packaging conditions of fresh-cut pineapple. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Alimentos. España. [Revisado: 9/Diciembre/12]. Disponible:
<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/51010/Tmcm1de1.pdf?sequence=1>
- Montero-Calderón M, Rojas-Graü MA, Martín-Belloso O. 2008. Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biol Technol.* 50: 182–189.
- Montero-Calderón M, Rojas-Graü MA, Martín-Belloso O. 2010. Mechanical and chemical properties of Gold cultivar pineapple flesh (*Ananas comosus*). *Eur Food Res Technol.* 230: 675–686.
- Moreira, S.P., De Cavalho, W.M., Alexandrino, A.C., Haroldo, C.B.D.P., Rodrigues, M.D.C.P., De Figueiredo, R.W., Maia, G.A., De Figueiredo, E.M.A.T. and Brasil, I.M. 2014. Freshness retention of minimally processed melon using different packages and multilayered edible coating containing microencapsulated essential oil. *Int J Food Sci Technol.* 49: 2192–2203.
- Morsy MK, Sharoba AM, Khalaf HH, El-Tanahy HH, Cutter CC. 2015. Efficacy of antimicrobial pullulan-based coating to improve internal quality and shelf-life of chicken eggs during storage. *J Food Sci.* 80(5):1066–1074.
- Muñoz O., Leal X., Quitral V., Cardemil L. 2015. Extraction, Characterization and Properties of the Gel of Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) Cultivated in Chile. *Med Aromat Plants.* 4: 3.
- Muralikrishna G, Salimath PV, Tharanathan RN. 1987. Structural features of an arabinoxylan and a rhamnogalacturonan derived from linseed mucilage. *Carbohydr Res.* 161: 265–271.

- Musmeci R. y Lezcano M.T. 2013. Acción antimicrobiana del gel de *Aloe vera* sobre *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida albicans*. *Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico*. 7: 27.
- Nejatzadeh-Barandozi F., Tahmasebi. S.E. 2012. FT-IR study of the polysaccharides isolated from the skin juice, gel juice, and flower of *Aloe vera* tissues affected by fertilizer treatment. *Org Med Chem Lett*. 2(33): 1–9.
- Nindo CI, Powers JR, Tang J. 2010. Thermal properties of *Aloe vera* powder and rheology of reconstituted gels. *ASABE*. 53(4): 1193–1200.
- NOM-092-SSA1-1994 Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Disponible: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>
- NOM-111-SSA1-1994 Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Disponible: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>
- Oliveira M, Viñas I, Colás P, Anguera M, Usall J, Abadias M. 2014. Effectiveness of a bacteriophage in reducing *Listeria monocytogenes* on fresh-cut fruits and fruit juices. *Food Microbiol*. 38: 137–142.
- Organización mundial de la Salud (OMS). 2011. E. coli enterohemorrágica (EHEC), Nota descriptiva N°125. [Revisado: 10/Octubre/16]. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs125/es/>
- Organización mundial de la Salud (OMS). 2013. Salmonella (no tifoidea), Nota descriptiva N°139. [Revisado: 10/Octubre/16]. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs139/es/>
- Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2008. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biol Technol*. 50: 87–94.
- Oms-Oliu G, Rojas-Grau MA, Gonzalez LA, Varela P, Soliva-Fortuny R, Hernando MIH, Perez IM, Fiszman S, Martin-Belloso O. 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biol Tech*. 57:139–148
- Pandey R, Mishra A. 2010. Antibacterial activities of crude extract of *aloe barbadensis* to clinically isolated bacterial pathogens. *Appl Biochem Biotechnol*. 160: 1356–1361.

- Pashova S. and Zhivkova V. 2010. Edible films and coatings used for prolonging the term of storage of foods. *Forum Ware International*. 1:20-28.
- Penteado AL, Leitão MFF. 2004. Growth of *Listeria monocytogenes* in melon, watermelon and papaya pulps. *Int J Food Microbiol*. 92: 89–94.
- Poverenov E, Danino S, Horev B, Granit R, Vinokur Y, Rodov V. 2014. Layer-by-Layer electrostatic deposition of edible coating on fresh cut melon model: anticipated and unexpected effects of alginate-chitosan combination. *Food Bioprocess Technol*. 7: 1424–1423.
- Qian KY, Cui SW, Wu Y, Goff HD. 2012. Linseed gum from linseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization. *Food Hydrocoll*. 28: 275–283.
- Ramos G.M.L., Bautista B.S., Barrera N.L.L. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados a recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología (RMF)*. 28(1):44–57.
- Restrepo D.A.M., Cortés R.M. y Suárez M.H. 2008. Evaluación sensorial de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) y uchuva (*Physalis peruviana* L.) fortificadas con vitamina E. *La Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 61(2).
- Restrepo F.J.I., Aristizabal T.I.D. 2010. Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. *Camarosa*) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 17(3): 252–263.
- Rodríguez-González S., Martínez-Flores H.E., Órnelas-Nuñez J.L., Garnica-Romo M.G. 2011. Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería (SMBB)*. Querétaro, Qto.
- Rodríguez G.A. 2011. Elaboración de biopelículas a base de quitosán y pululano adicionados con extractos de cinco diferentes plantas y su evaluación en cultivos de microorganismos periodontopatógenos. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. México.
- Rodríguez-González S, Martínez-Flores HE, Chávez-Moreno CK, Macías-Rodríguez LI, Zavala-Mendoza E, Garnica-Romo MG, Chacón-García L. 2014. Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *J Food Process Eng*. 37: 285–292.

- Rojas MAG. 2006. Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresco cortada: Una nueva estrategia de conservación. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. España. [Revisado: 27/Febrero/12]. Disponible: <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8377/Trgmj1de4.pdf?sequence=1>
- Ruíz CS, Guevara GCL, Estrada AI, Cira CLA, Gassóss OLE, Llanez SAL. 2010. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y almidón para mantener la calidad sensorial y microbiológica de melón fresco cortado. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica*. 1(1): 1–11.
- Russo P, De Chiara MLV, Vernile A, Amodio ML, Arena MP, Capozzi V, Massa S, Spano G. 2014. Fresh-cut pineapple as a new carrier of probiotic lactic acid bacteria. *Biomed Res Int*. 1–9.
- Sepúlveda E., Sáenz C., Aliaga E., Aceituno C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*. 68: 534–545.
- Saavedra N.F, Ale B.N., Gordillo R.G., Apestequía I.A., Jurado T.B., Revilla C.A. 2010. Análisis por espectroscopía UV y FTIR de macerados acuosos y alcohólicos de *Aloe vera* L y *Aloe barbadensis* Miller interacción con sales inorgánicas. *Rev Soc Quím Perú*. 76 (3): 242–260.
- Saavedra F.E., López B.C., Yrei V.J., Gallardo T.C., Ale N. y Gordillo G.C. 2012. Actividad antibacteriana y fungicida de las antraquinonas de *Aloe vera* L. combinadas con cationes cobre, hierro, plata y bismuto. *Ciencia e Investigación*. 15(1): 30–35.
- SAGARPA. Producción agrícola, anuario. Disponible: www.sagarpa.gob.mx [Revisado 23 de Febrero 2013].
- Sánchez GI, Vargas M, González M, Chafer M. Chiralt A. 2008. Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimentos. VII Congreso SEAE Bullas. [Revisado: 27/Febrero/12] Disponible: http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/posters/5%20P.%20CALIDAD/calidad3.pdf

- Santos G, Heredia N. 2009. Chapter 2. Foodborne pathogens and toxins: an overview. *Microbiologically safe foods*. Wiley. 15–52.
- Salinas-Hernández RM, González-Aguilar GA, Pirovani ME, Ulín-Montejo F. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 23(2):183–196.
- Silva SS, Popa EG, Gomes ME, Cerqueira M, Marques AP, Caridade SG, Teixeira P, Sousa C, Mano JF, Reis RL. 2013. An investigation of the potential application of chitosan/alginate-based membranes for regenerative medicine. *Acta Biomater*. 9: 6790–6797.
- Silva S.M.L., Braga R.C.C., Marcus V.L.M, Raposo M.O.C, Carvalho L.H., Canedo L.E. 2012. Application of Infrared Spectroscopy to Analysis of Chitosan/Clay Nanocomposites. *Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology*. Chapter 2. 42–62.
- Singer FAW., Taha FS, Mohamed SS, Gibriel A, El-Nawawy M. 2011. Preparation of mucilage/protein products of flaxseed. *Am J Food Technol*. 6(4): 260–278.
- Sipahi RE, Castell-Perez ME, Moreira RG, Gomes C, Castillo A. 2013. Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). *LWT - Food Sci Technol*. 51: 9–15.
- Song HY, Jo WS, Song NB, Min SC, Song KB. 2013. Quality change of apple slices coated with *aloe vera* gel during storage. *J Food Sci*. 78(6): 817–822.
- Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends Food Sci Technol*. 18: 84–95.
- Stoica-Guzun A., Dobre L., Stroescu M., Jipa I. 2010. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for characterization of antimicrobial films containing chitosan. *Analele Universităţii din Oradea Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie si Tehnologii de Industrie Alimentară*. 1234–1240.
- Tavares J.A.R. 2005. Guía de laboratorio. Determinación de vitamina C. Área Ciencias Fisiológicas, PUCMM. [Revisado: 14/Junio/11]. Disponible: <http://pucmmsti.edu.do/cienciasfisiologic>

- Tehrani M. H. H., Batal R, Kamalinejad M, Mahbubi A. 2014. Extraction and purification of flaxseed proteins and studying their antibacterial activities. *Journal of Plant Sciences (JPS)*. 2(1): 70–76.
- Thirumavalavan K., Manikkadan T. R., R. Dhanasekar. 2009. Pullulan production from coconut by-products by *Aureobasidium pullulan*. *Afr J Biotechnol*. 8(2): 254–258.
- Treviño-Garza MZ. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles a base de biopolímeros, residuos agroindustriales y agentes antimicrobianos en la vida de anaquel de la fresa (*Fragaria ananassa*). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Treviño-Garza MZ, García S, Flores-González and Arévalo N.K. 2015. Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *J Food Sci*. 80(8): 823–826.
- Urias O.V., Rascón C.A., Lizardi M.J. Carvajal M.E., Gardea A.A., Ramírez W.B. 2010. A Novel Pectin Material: Extraction, Characterization and Gelling Properties. *Int J Mol Sci*. 11: 3686–3695.
- Wang Y, Li D, Wang LJ, Li SJ, Adhikari B. 2010. Effects of drying methods on the functional properties of Linseed gum powders. *Carbohydr Polym*. 81: 128–133.
- Yurdugül S. 2005. Preservation of quinces by the combination of an edible coating material, semperfresh, ascorbic acid and cold storage. *Eur Food Res Technol*. 220: 579–86.

11. ANEXO

Tabla 8.

Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en los parámetros físicos de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.

Días	Control	QPU	QML	QMN	QMS
Pérdida de peso (g/100g)					
3	^b 1.59 (0.24) ^A	^b 1.62 (0.22) ^A	^{ab} 1.28 (0.07) ^A	^a 0.86 (0.10) ^A	^{ab} 1.08 (0.12) ^A
6	^b 5.68 (0.63) ^{AB}	^{ab} 4.79 (0.56) ^{AB}	^b 5.51 (0.29) ^B	^a 3.60 (0.24) ^B	^a 3.68 (0.40) ^B
9	^b 7.90 (0.94) ^{BC}	^{ab} 7.20 (0.74) ^{BC}	^{ab} 7.29 (0.39) ^{BC}	^a 5.57 (0.30) ^C	^a 5.34 (0.49) ^{BC}
12	^b 11.91 (2.07) ^{CD}	^{ab} 10.00 (0.90) ^{CD}	^{ab} 8.65 (0.62) ^C	^a 7.63 (0.38) ^D	^a 7.66 (0.60) ^{CD}
15	^b 11.97 (1.02) ^{CD}	^{ab} 10.73(1.15) ^{CD}	^b 8.95 (0.71) ^C	^a 8.52 (0.42) ^{DE}	^{ab} 8.64 (0.75) ^D
18	^b 14.15 (1.27) ^D	^{ab} 12.20 (1.35) ^D	^{ab} 11.26 (0.81) ^D	^a 9.91 (0.52) ^E	^a 9.99 (0.99) ^D
Firmeza (N)					
0	^a 4.87 (0.34) ^B	^a 5.33 (0.69) ^C	^a 5.05 (0.57) ^C	^a 4.90 (0.33) ^B	^a 5.42 (0.72) ^B
3	^a 3.93 (0.41) ^B	^b 4.99 (0.72) ^{BC}	^a 3.84 (0.11) ^{BC}	^a 4.11 (0.33) ^{AB}	^a 3.97 (0.32) ^{AB}
6	^a 2.16 (0.34) ^A	^b 3.89 (0.25) ^{ABC}	^b 3.49 (0.52) ^{ABC}	^b 3.93 (0.34) ^{AB}	^b 3.70 (0.25) ^A
9	^a 1.93 (0.28) ^A	^{ab} 3.05 (0.21) ^{AB}	^{ab} 2.88 (0.25) ^{AB}	^b 3.25 (0.39) ^A	^b 3.34 (0.18) ^A
12	^a 1.49 (0.31) ^A	^b 3.01 (0.32) ^{AB}	^b 2.78 (0.20) ^{AB}	^b 2.84 (0.35) ^A	^b 3.30 (0.24) ^A
15	^a 1.66 (0.12) ^A	^b 2.98 (0.37) ^{AB}	^b 2.68 (0.26) ^{AB}	^{ab} 2.78 (0.34) ^A	^{ab} 2.82 (0.30) ^A
18	^a 1.32 (0.14) ^A	^b 2.60 (0.34) ^A	^b 2.23 (0.25) ^A	^b 2.58 (0.35) ^A	^b 2.61 (0.24) ^A

¹ Desviación estándar.

^{a,b} Las medias en la fila, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B} Las medias en la columna, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 9.

Efecto de los recubrimientos comestibles capa por capa en los parámetros químicos de la piña fresca cortada y almacenada a 4 °C durante 18 días.

Días	Control	QPU	QML	QMN	QMS
SST (°Brix)					
0	^c 12.33 ± 0.07 ^A	^b 10.67 ± 0.15 ^A	^a 10.07 ± 0.07 ^A	^{ab} 10.47 ± 0.07 ^A	^b 10.73 ± 0.07 ^A
3	^c 12.07 ± 0.24 ^A	^{bc} 11.47 ± 0.18 ^B	^a 10.07 ± 0.07 ^A	^b 11.33 ± 0.07 ^B	^a 10.67 ± 0.07 ^A
6	^c 12.87 ± 0.37 ^B	^{ab} 11.27 ± 0.07 ^B	^a 10.93 ± 0.07 ^B	^{bc} 12.07 ± 0.07 ^C	^a 11.13 ± 0.07 ^{AB}
9	^c 13.07 ± 0.00 ^{BC}	^{ab} 11.60 ± 0.07 ^B	^a 11.23 ± 0.12 ^{BC}	^b 12.00 ± 0.34 ^C	^{ab} 11.80 ± 0.00 ^{BC}
12	^d 13.53 ± 0.07 ^{CD}	^{bc} 12.47 ± 0.07 ^C	^a 11.00 ± 0.07 ^B	^c 12.73 ± 0.00 ^D	^b 12.27 ± 0.18 ^C
15	^c 13.53 ± 0.00 ^{CD}	^a 12.13 ± 0.07 ^C	^a 11.93 ± 0.13 ^{CD}	^b 12.73 ± 0.07 ^D	^a 12.00 ± 0.07 ^C
18	^b 13.80 ± 0.07 ^D	^a 12.93 ± 0.12 ^D	^a 12.53 ± 0.07 ^D	^a 12.93 ± 0.13 ^D	^b 13.73 ± 0.07 ^D
AT (g ácido cítrico / 100g)					
0	^a 0.62 ± 0.05 ^{CD}	^a 0.66 ± 0.02 ^B	^a 0.62 ± 0.02 ^{AB}	^a 0.62 ± 0.02 ^B	^a 0.73 ± 0.02 ^C
3	^a 0.65 ± 0.01 ^D	^a 0.64 ± 0.03 ^B	^a 0.67 ± 0.01 ^B	^a 0.57 ± 0.04 ^{AB}	^a 0.63 ± 0.04 ^{BC}
6	^b 0.61 ± 0.01 ^{CD}	^{ab} 0.58 ± 0.01 ^{AB}	^a 0.52 ± 0.01 ^A	^a 0.51 ± 0.01 ^{AB}	^{ab} 0.60 ± 0.03 ^{AB}
9	^{ab} 0.54 ± 0.02 ^{BC}	^b 0.58 ± 0.02 ^{AB}	^{ab} 0.53 ± 0.01 ^{AB}	^a 0.50 ± 0.01 ^A	^b 0.59 ± 0.02 ^{AB}
12	^a 0.49 ± 0.03 ^{AB}	^b 0.59 ± 0.02 ^{AB}	^{ab} 0.51 ± 0.02 ^A	^{ab} 0.51 ± 0.01 ^{AB}	^{ab} 0.54 ± 0.01 ^{AB}
15	^a 0.46 ± 0.03 ^{AB}	^a 0.50 ± 0.02 ^A	^a 0.50 ± 0.01 ^A	^a 0.48 ± 0.00 ^A	^a 0.52 ± 0.01 ^{AB}
18	^a 0.42 ± 0.02 ^A	^a 0.49 ± 0.00 ^A	^a 0.47 ± 0.05 ^A	^a 0.48 ± 0.02 ^A	^a 0.49 ± 0.02 ^A
pH					
0	^a 3.67 ± 0.01 ^{AB}	^a 3.65 ± 0.01 ^A	^b 3.75 ± 0.00 ^A	^b 3.76 ± 0.01 ^A	^a 3.66 ± 0.00 ^A
3	^b 3.68 ± 0.01 ^{AB}	^d 3.78 ± 0.01 ^C	^d 3.79 ± 0.00 ^{AB}	^c 3.75 ± 0.00 ^A	^a 3.65 ± 0.00 ^A
6	^a 3.64 ± 0.01 ^A	^b 3.72 ± 0.00 ^B	^c 3.79 ± 0.01 ^{AB}	^d 3.83 ± 0.00 ^B	^b 3.74 ± 0.02 ^B
9	^a 3.69 ± 0.01 ^{ABC}	^c 3.81 ± 0.00 ^{CDE}	^b 3.74 ± 0.01 ^A	^c 3.81 ± 0.01 ^B	^c 3.78 ± 0.01 ^{BC}
12	^a 3.73 ± 0.01 ^{BCD}	^b 3.80 ± 0.01 ^{CD}	^c 3.85 ± 0.02 ^{BC}	^c 3.89 ± 0.01 ^C	^{ab} 3.76 ± 0.01 ^{BC}
15	^a 3.75 ± 0.02 ^{CD}	^{bc} 3.84 ± 0.01 ^{DE}	^c 3.87 ± 0.01 ^C	^c 3.91 ± 0.03 ^C	^{ab} 3.78 ± 0.00 ^{BC}
18	^a 3.77 ± 0.01 ^D	^{ab} 3.85 ± 0.03 ^E	^b 3.90 ± 0.02 ^C	^b 3.93 ± 0.02 ^C	^a 3.80 ± 0.02 ^C
Vitamina C (mg/ 100g)					
0	^a 36.80 ± 1.75 ^C	^a 34.44 ± 0.71 ^B	^a 36.44 ± 2.17 ^C	^a 38.67 ± 1.00 ^C	^a 40.39 ± 3.84 ^C
3	^a 30.38 ± 2.76 ^{BC}	^a 34.84 ± 2.62 ^B	^a 29.89 ± 4.33 ^{BC}	^a 34.61 ± 2.16 ^C	^a 39.46 ± 2.83 ^C
6	^a 30.55 ± 0.63 ^{BC}	^a 34.23 ± 2.83 ^B	^a 28.38 ± 2.31 ^{ABC}	^a 34.39 ± 1.76 ^C	^a 36.16 ± 0.51 ^{BC}
9	^a 23.57 ± 1.11 ^{AB}	^a 33.28 ± 2.30 ^B	^a 28.76 ± 2.10 ^{ABC}	^a 32.25 ± 4.86 ^{BC}	^a 29.80 ± 1.47 ^{AB}
12	^a 20.02 ± 1.55 ^A	^b 27.97 ± 2.12 ^{AB}	^{ab} 25.50 ± 0.48 ^{AB}	^b 29.87 ± 0.70 ^{BC}	^b 27.08 ± 0.22 ^A
15	^a 18.57 ± 1.54 ^A	^{ab} 23.99 ± 0.49 ^{AB}	^a 18.50 ± 1.66 ^A	^{ab} 22.65 ± 0.84 ^{AB}	^b 26.08 ± 1.76 ^A
18	^a 17.25 ± 0.89 ^A	^a 18.46 ± 0.10 ^A	^{ab} 18.48 ± 1.10 ^A	^{ab} 18.61 ± 1.16 ^A	^b 22.42 ± 0.52 ^A

¹ Desviación estándar.

^{a,b} Las medias en la fila, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B} Las medias en la columna, que no tienen un superíndice común, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

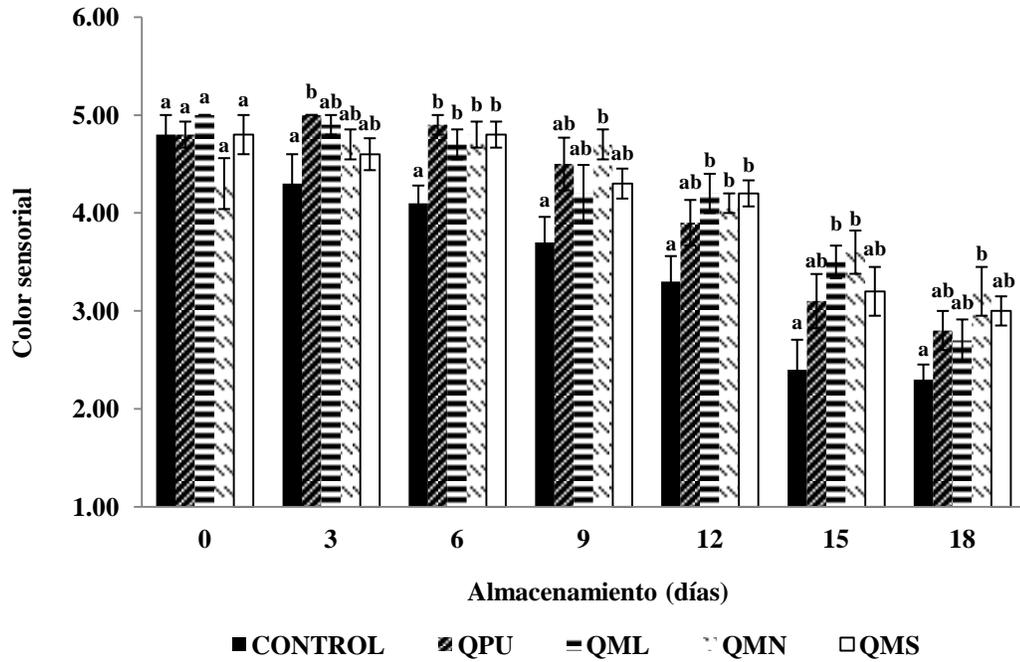


Figura 35. Color sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

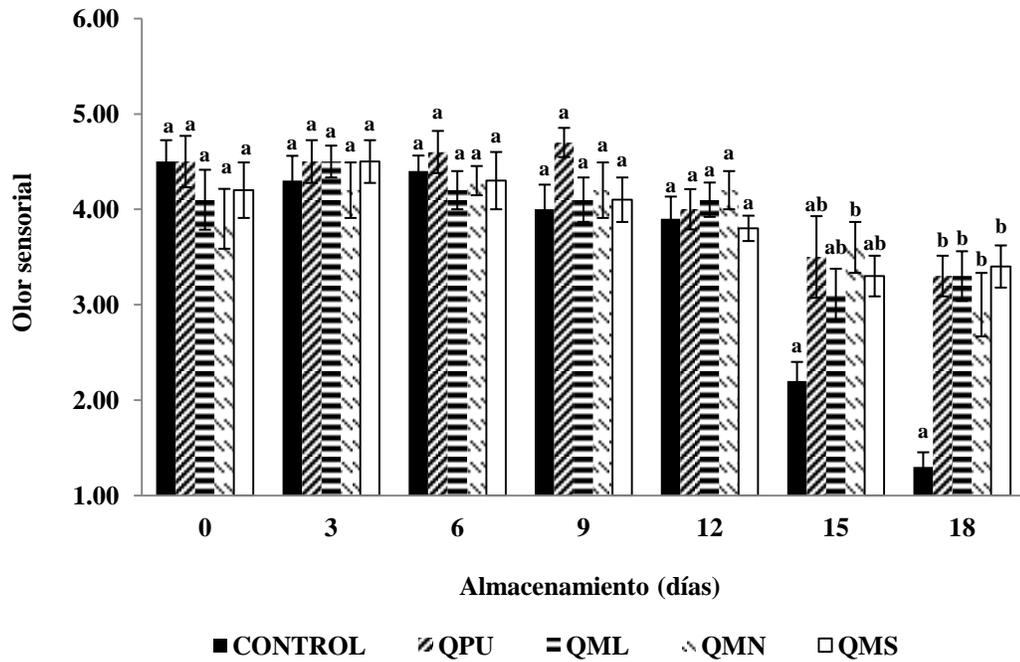


Figura 36. Olor sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

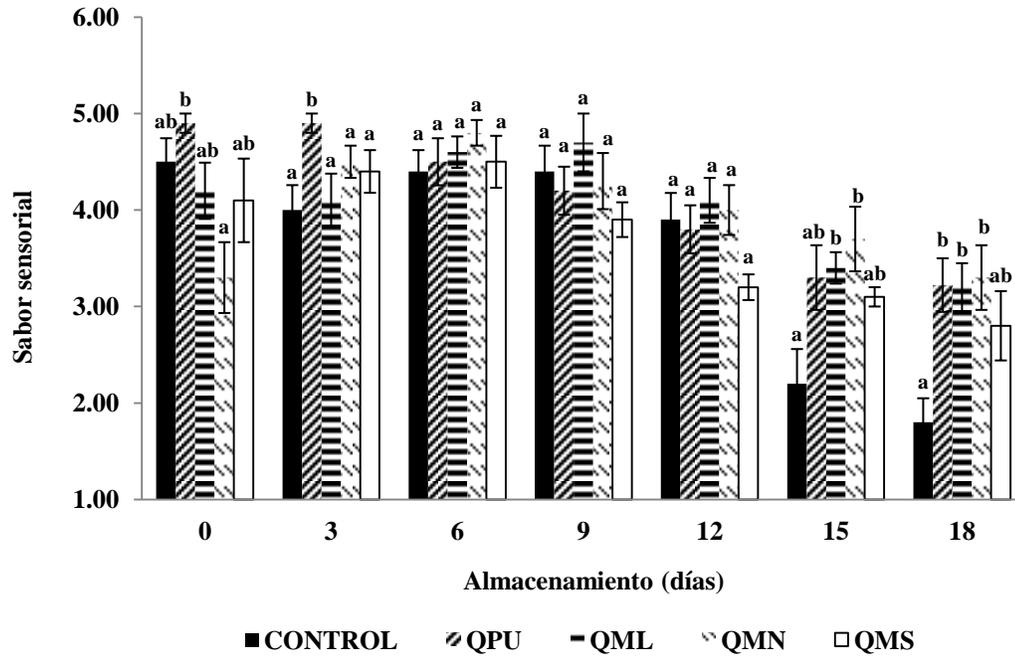


Figura 37. Sabor sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

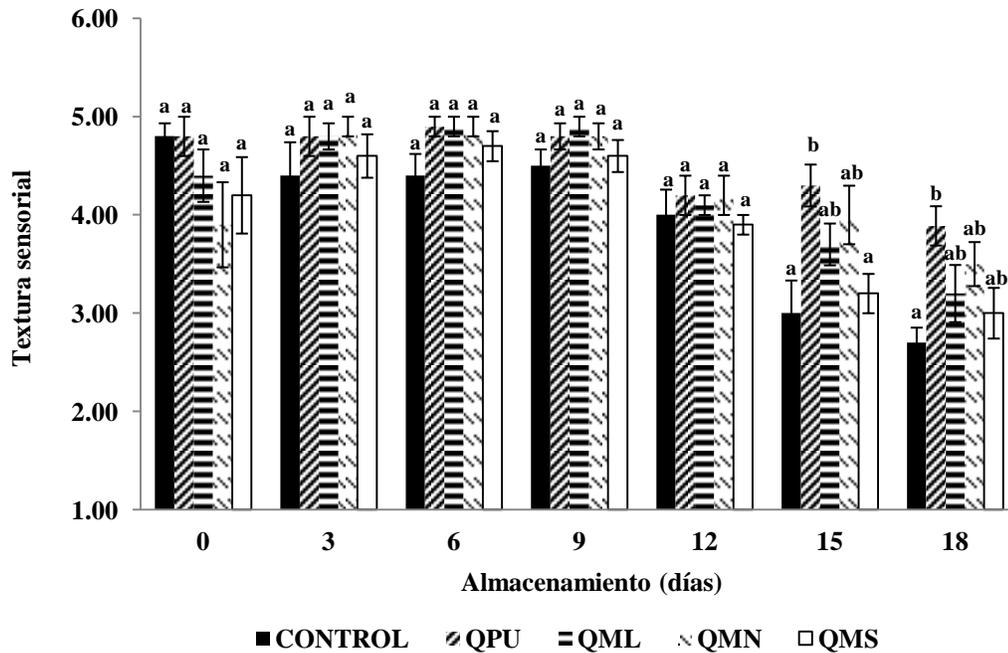


Figura 38. Textura sensorial de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

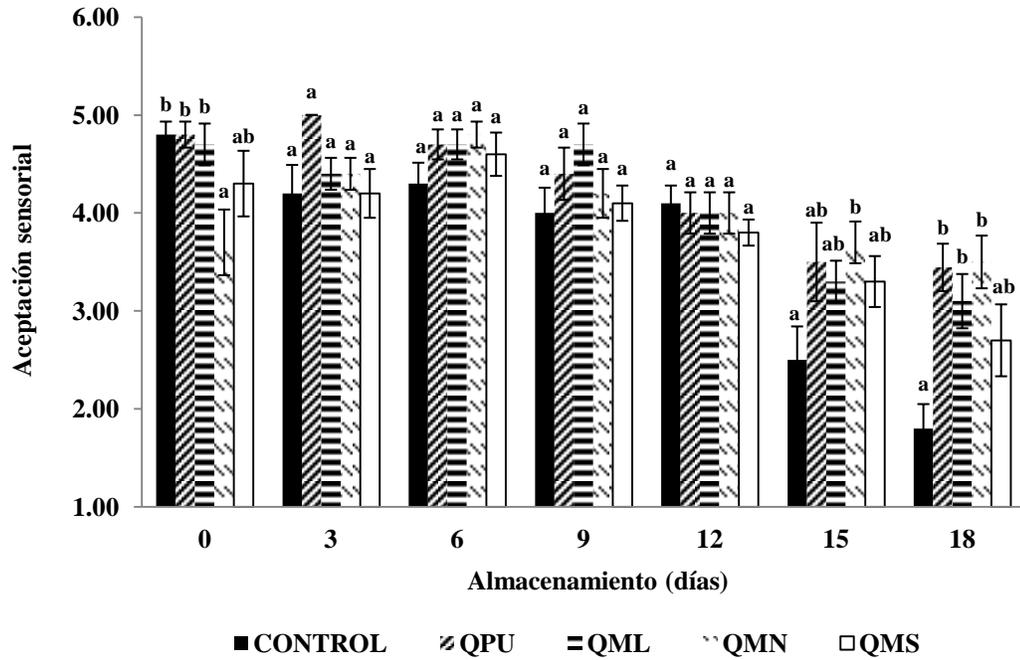


Figura 39. Aceptación sensorial general de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

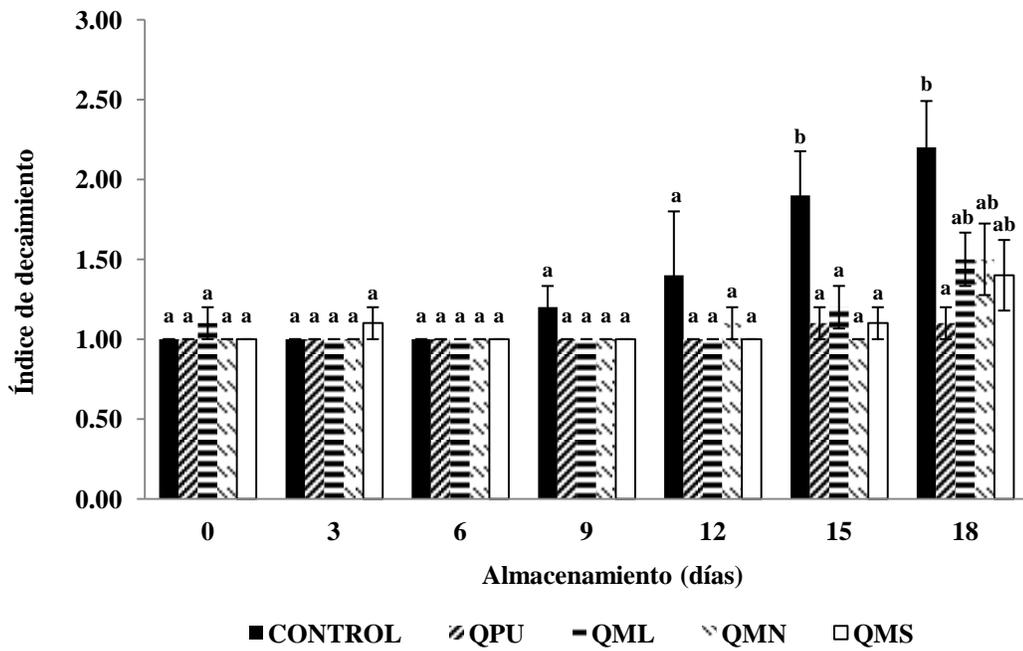


Figura 40. Índice de decaimiento de la piña fresca cortada y recubierta, durante 18 días de almacenamiento a 4 °C.

12. RESUMEN BIOGRÁFICO

Mayra Zulema Treviño Garza

Candidato al grado de Doctor en Ciencias con Orientación en Biotecnología

Tesis: Evaluación y comparación de recubrimientos comestibles a base de mucílagos, quitosán y pululano en la calidad y vida de anaquel de la piña fresca cortada.

Campo de estudio: Biotecnología de alimentos.

Datos personales: Nacida en Monterrey N.L. el 30 de Diciembre de 1983, hija de Eleazar Treviño Cisneros y Sulema Garza Villarreal.

Educación:

- Egresada de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León con el grado de Químico Bacteriólogo Parasitólogo (2000 - 2005).
- Maestría en Ciencias con Acentuación en Microbiología en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León con el grado de Químico Bacteriólogo Parasitólogo (2010 - 2012).

Experiencia profesional:

- Auxiliar en el laboratorio de trasplantes de la UMAE. 25 IMSS (2005 - 2006).
- Analista de laboratorio (Departamento de Aseguramiento de Calidad) en Sigma Alimentos Noreste S.A. de C.V. (2007 - 2009).
- Investigador de Tiempo Completo en el Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León (2009- a la fecha).