



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACION DE PELICULAS
COMESTIBLES DE MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE TUNA (*Opuntia
ficus indica*)**

TESIS

PRESENTADA POR:

KELI PAMELA ORDOÑO AGUIRRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO-PERÚ

2015



DEDICATORIA

A mi papá Ernesto Ordoño †, aunque ausente físicamente siempre estuvo guiándome con los recuerdos que guardo de él.

Muy especialmente a mi mami Luz Amanda Aguirre por su apoyo incondicional, paciencia y esmero por impulsarme en el camino para alcanzar esta meta en mi vida profesional.

A mis hermanos Mohamed y Jordan por ser ejemplos en mi vida profesional.



AGRADECIMIENTOS

A mis estimados docentes de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial por los conocimientos impartidos durante mi formación académica, por compartir conmigo su tiempo, experiencias y anécdotas.

Al Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza por su apoyo incondicional en la realización del presente proyecto de investigación.

A la M.Sc. Luz Amanda Aguirre Florez por su constante apoyo profesional durante toda mi vida.

Al Dr. Luis Alberto Jiménez Monroy por sus palabras de aliento.

A la Dr. Genny Isabel Luna Mercado por su orientación y apoyo en este proyecto.

A la Dr. Rosario Edely Ortega Barriga por su tiempo y palabras motivadoras.

Al Ing. Victor Choquehuanca Cáceres por todo el apoyo y orientación.

A mi esposo Sergio por el apoyo constante que me brindo.

A mis dos hijos Edriane y Eduar que esta tesis sirva de ejemplo que siempre deben crecer profesionalmente.

Finalmente agradezco a toda mi familia y a las personas que directa o indirectamente me apoyaron en la realización de mi trabajo y de manera muy especial a mis amigos Katia, Danitza, Susan, Lisbet, Nadia, Brenda, Adisson, Josué y Alex quienes me apoyaron en toda circunstancia a pesar de las dificultades.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
ÍNDICE DE ECUACIONES	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1. Objetivos de la investigación	17
Objetivo general	17
Objetivo específico.....	17

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico	18
2.1.1. Tuna.....	18
2.1.1.1. Variedades de tuna	18
2.1.1.2. Patrón de consumo.....	19
2.1.1.3. Propiedades nutricionales.	19
2.1.1.4 Características morfológicas.....	22
2.1.1.5 Clasificación científica	24
2.1.2 Mucílago.....	25
2.1.2.1 Estructura de los mucílago	25
2.1.2.2 Mucílago de tuna	27
2.1.3 Películas comestibles.....	29
2.1.3.1 Propiedades de las películas	29



2.1.3.1.1 Propiedades de humectabilidad de películas en solución	29
2.1.3.1.2 Propiedades de barrera en películas comestibles.....	31
2.1.3.1.2.1 Permeabilidad al vapor de agua.....	31
2.1.3.1.2.2 Propiedades mecánicas de películas comestibles	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación geográfica del estudio	37
3.2 Periodo de duración del estudio	37
3.3. Procedencia del material utilizado	37
3.4 Población y muestra del estudio.....	39
3.5 Diseño estadístico.....	39
3.6 Procedimientos.....	41
3.6.1 Mucílago:.....	41
3.6.2 Películas comestibles:.....	42
3.6.3 Caracterización de las películas	44
3.6.4 Tunas mínimamente procesadas.....	46
3.6.5 Metodología para el análisis físico, químico y microbiológico de tunas mínimamente procesadas	47
3.6.6 Unidades de análisis y observaciones	49
3.7 Variables	50
3.7.1 Variables de respuesta para el primer objetivo:	50
3.7.2 Variables de respuesta para el segundo objetivo:.....	50
3.8 Diseño de investigación	51

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados	54
4.1.1 Propiedades de humectabilidad de las películas comestibles.....	54
4.1.2 Propiedad de barrera – permeabilidad al vapor de agua	62
4.1.3 Propiedades mecánicas de las películas comestibles	70



4.1.4 Propiedades químicas, físicas y microbiológicas de las películas comestibles	82
4.2 Discusiones	102
V. CONCLUSIONES.....	109
VI. RECOMIENDACIONES	110
VII. REFERENCIAS BIBLIGRAFICAS.....	111
ANEXOS.....	115

Área: Propiedades Físicas y Estructurales

Tema: Obtención y caracterización de películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna.

FECHA DE SUSTENTACIÓN 15 DE JULIO DEL 2015



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Flores Jóvenes de <i>Opuntia ficus indica</i>	23
Figura 2.	Cáscara y pulpa gelatinosa de los frutos de la tuna	24
Figura 3.	Componentes del fruto de tuna	24
Figura 4.	Compuestos del mucílago.....	26
Figura 5.	Posible estructura del mucílago.....	27
Figura 6.	Proceso de difusión activa	32
Figura 7.	Diagrama de flujo para la obtención de la solución de mucílago.....	42
Figura 8.	Diagrama de flujo para la elaboración de películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna	44
Figura 9.	Diagrama de flujo para la elaboración de tunas mínimamente procesadas.....	47
Figura 10.	Permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna con diferentes % CMC	69
Figura 11.	Efecto del % de CMC en el esfuerzo de fractura de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna	75
Figura 12.	Efecto del % de CMC en el % de deformación de Hencky de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna	79
Figura 13.	Efecto del % de CMC en el modulo de elasticidad de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna	82
Figura 14.	Evolución del ° Brix durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles	84
Figura 15.	Evolución del pH durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.....	88
Figura 16.	Evolución del % de acidez durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.....	91
Figura 17.	Pérdida de peso (g) durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.....	94
Figura 18.	Pérdida de firmeza (N) durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.	98
Figura 19.	Crecimiento microbiano de A. mesófilos durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.	102



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Constituyentes Químicos de Cladodios sin espinas y pulpa de fruta de Opuntia spp	19
Tabla 2	Contenido de aminoácidos libres en cladodio y pulpa de fruta de Opuntia ficus indica.....	20
Tabla 3	Contenido de Vitaminas y Antioxidantes en cladodio y pulpa de fruta de Opuntia spp.....	21
Tabla 4.	Contenido mineral de Opuntia spp. Cladodio sin espinas y pulpa de fruta .	21
Tabla 5.	Composición química del mucílago de Opuntia ficus indica (g/100g muestra)	28
Tabla 6.	Peso Molecular (PM) y monómeros (galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa, ácido galacturónico) presentes en mucílagos de Opuntia spp. Según diferentes estudios.	28
Tabla 7.	Permeabilidad al vapor de agua (g.mm.kPa-1.d-1.m-2) en función del grosor, estimados con los modelos de regresión no lineales.....	33
Tabla 8.	Valores medios de ángulo de contacto (°) de las películas de cáscara de 3 variedades de tuna con diferentes % de CMC	55
Tabla 9.	Ángulo de contacto (θ) y humectabilidad (mNm-1) de soluciones formadoras de películas en piel de tuna	57
Tabla 10.	Tabla ANVA para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas comestibles de cáscara de tuna	58
Tabla 11.	Prueba de comparación de Tukey para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas de cáscara de tuna por Tiempos (s) $\alpha = 0.01$	59
Tabla 12.	Prueba de comparación de Tukey para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas de cáscara de tuna por % CMC $\alpha = 0.01$	61
Tabla 13.	Valores medios de Permeabilidad al vapor de agua (g/Pa s m x 10-5) de las películas de cáscara de 3 variedades de tuna con diferentes % de CMC.....	64
Tabla 14.	Tabla ANVA para Permeabilidad al vapor de agua (g/msPa) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	67
Tabla 15.	Prueba de comparación de Tukey para Permeabilidad al vapor de agua (g/msPa) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$	68



Tabla 16.	Valores medios del grosor, propiedades mecánicas y desviación estándar de las películas de cascara de 3 variedades de tuna con diferentes porcentajes de CMC.....	71
Tabla 17.	Tabla ANVA para Esfuerzo de Fractura (T) de las películas comestibles de cáscara de tuna $\alpha = 0.05$	73
Tabla 18.	Prueba de comparación de Tukey para Esfuerzo de Fractura (T) por Variedad de tuna de las películas comestibles $\alpha = 0.01$	74
Tabla 19.	Prueba de comparación de Tukey para esfuerzo de fractura por % CMC de las películas comestibles. $\alpha = 0.01$	74
Tabla 20.	Tabla ANVA para % de deformación de Hencky (%EH) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	76
Tabla 21.	Prueba de comparación de Tukey para % de deformación de Hencky (%EH) por Variedad de tuna de las películas comestibles $\alpha = 0.01$	77
Tabla 22.	.Prueba de comparación de Tukey para % de deformación de Hencky (%EH) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$	78
Tabla 23.	Tabla ANVA para Módulo de elasticidad (E) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	80
Tabla 24.	Prueba de comparación de Tukey para módulo de elasticidad (E) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$	81
Tabla 25.	Valores medios de °Brix de las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo	83
Tabla 26.	Tabla ANVA para °Brix de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	85
Tabla 27.	Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento de las tunas mínimamente procesadas $\alpha = 0.01$	86
Tabla 28.	Valores medios del pH de las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo	87
Tabla 29.	Tabla ANVA para pH de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	89
Tabla 30.	Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto al pH de las tunas mínimamente procesadas $\alpha = 0.01$	90



Tabla 31.	Valores medios del % Acidez de las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo	91
Tabla 32.	Tabla ANVA para % Acidez de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	92
Tabla 33.	Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto a la Acidez de las tunas mínimamente procesadas $\alpha=0.01$	93
Tabla 34.	Valores medios de los pesos (g) las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo	94
Tabla 35.	Tabla ANVA para pérdida de peso en tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	96
Tabla 36.	Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto al peso de las tunas mínimamente procesadas $\alpha = 0.01$	96
Tabla 37.	Valores medios de Firmeza de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo	98
Tabla 38.	Tabla ANVA para firmeza de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$	99
Tabla 39.	Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto a la firmeza de las tunas mínimamente procesadas $\alpha=0.01$	100
Tabla 40.	Recuento microbiano de las tunas mínimamente procesadas envueltas y recubiertas con películas comestibles en ufc/g	101



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CMC: La carboximetilcelulosa (CMC) o carmelosa es un compuesto orgánico, derivado de la celulosa, compuesto por grupos carboximetil, enlazados a algunos grupos hidroxilo, presente en polímeros de la glucopiranososa

pH: El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La sigla significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones.

ANVA: Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores.



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	26
Ecuación 2.....	33
Ecuación 3.....	45
Ecuación 4.....	45
Ecuación 5.....	51
Ecuación 6.....	52



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 8-1 .	Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad e inocuidad para: Frutas, hortalizas, frutos secos y otros vegetales	115
ANEXO 8-2.	Mucílago de cáscara de variedad de tuna blanca	117
ANEXO 8-3.	Mucílago de cáscara de variedad de tuna naranja	118
ANEXO 8-4.	Mucílago de cáscara de variedad de tuna roja	118
ANEXO 8-5.	Determinacion del angulo de contacto.....	119
ANEXO 8-6.	Películas para determinacion de pruebas mecanicas	119
ANEXO 8-7.	Determinacion de pruebas mecanicas.....	120
ANEXO 8-8.	Tuna envuelta con película comestible al día 18	120
ANEXO 8-9.	Tuna recubierta con película comestible al día 18.....	121



RESUMEN

Esta presente investigación obtenemos de los plásticos elaborados con derivados del petróleo, han causado un gran problema de contaminación, por ello que el desarrollo de una tecnología para producción de envases biodegradables y a la vez comestibles presenta una buena alternativa, usando materia prima de fuente renovable, en caso de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*). El objetivo es obtener y caracterizar películas comestibles elaboradas de mucílago de cáscara de tuna con diferentes porcentajes de sustitución de CMC: 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%; para luego aplicar dichas películas en tunas mínimamente procesadas, tomando como referencia la sustitución que presente mejores características. Para cubrir este objetivo se caracterizaron las películas en diferentes aspectos que han puesto de manifiesto la diferencia entre las concentraciones de CMC, para determinar humectabilidad de solución formadora de película se midió el ángulo de contacto en equilibrio mediante el método análisis de imagen, siendo después traducido con el paquete IMAGE J 1.48V, el ángulo de contacto fue $\theta = 57.255$ encontrando su equilibrio al segundo 31. Además, se estudiaron las propiedades mecánicas: Esfuerzo de Fractura (T): 78.3803 MPa, Porcentaje de deformación de Hencky ($\% \epsilon_H$): 18.8401 % y Módulo de elasticidad (E): 2.83712 MPa, los cuales pertenecen a la sustitución de 2.0% de CMC, propiedades de barrera: permeabilidad vapor de agua de $1.5057E-05$ y $1.5842E-05$ g/msPa pertenecientes 1.5% y 2.0% de CMC respectivamente. La aplicación películas comestibles en tunas mínimamente procesadas resultó eficaz para reducir la pérdida de peso y frenó el desarrollo bacteriano de *Aerobios mesófilos* mientras que aplicación de soluciones formadoras de películas no resultó eficaz debido al alto contenido de agua de tuna que se mezcló con solución líquida formadora, perjudicando así el secado y acelerando el crecimiento de microorganismos que llevan al deterioro.

Palabras claves. Películas, mucílago, cascara, tuna, CMC



ABSTRACT

This present investigation we obtain from plastics made with petroleum derivatives, have caused a great problem of contamination, for this reason the development of a technology for the production of biodegradable and at the same time edible containers presents a good alternative, using for this a raw material of renewable source, in the case of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). The objective is to obtain and characterize edible films made of prickly pear peel mucilage with different percentages of CMC substitution: 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0%; and then apply these films to minimally processed prickly pears, taking as a reference the substitution that presents the best characteristics. To meet this objective, the films were characterized in different aspects that have revealed the difference between the concentrations of CMC, to determine the wettability of the film-forming solution, the contact angle at equilibrium was measured by the image analysis method, being later translated With the IMAGE J 1.48V package, the contact angle was $\theta = 57.255$ finding its equilibrium at 31 second. Furthermore, the mechanical properties were studied: Fracture Stress (T): 78.3803 MPa, Hencky's Deformation Percentage (% ϵ_H): 18.8401% and Modulus of elasticity (E): 2.83712 MPa, which belong to the 2.0% substitution of CMC, barrier properties: water vapor permeability of 1.5057E-05 and 1.5842E-05 g / msPa belonging to 1.5% and 2.0% of CMC respectively. The application of edible films in minimally processed prickly pears was effective in reducing weight loss and slowed the bacterial development of mesophilic aerobes, while the application of film-forming solutions was not effective due to the high water content of the prickly pear that was mixed with the solution. forming liquid, thus impairing drying and accelerating the growth of microorganisms that lead to their deterioration.

Keywords. Films, mucilage, shell, tuna, CMC



CAPÍTULO I

INTRODUCCION

Los polisacáridos de las plantas son una fuente de aditivos para diversas industrias, en particular para la alimentaria. Muchos de estos polisacáridos, como aquellos provenientes de la familia *Cactaceae* han sido estudiadas por su capacidad de formar películas. La cáscara de tuna es un residuo orgánico que genera problemas de contaminación al no ser tratado, es en esta donde se encuentra el mucílago, hidrocoloide que podría integrar la gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de los alimentos, teniendo la capacidad de formar geles (Abraján, 2008), la importancia de esta característica hace que resulte importante el aprovechamiento del mucílago de cáscara de tuna para la obtención de películas comestibles, de forma que minimice el impacto ambiental generado por los desechos orgánicos (cáscara de tuna) y por la eliminación de los envases.

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles, Bósquez (2003), desarrolló recubrimientos comestibles compuestos empleando dos productos naturales: la goma de mezquite como agente estructural y la cera de candelilla sola o combinada con cera de abeja, aceite mineral o ácido oleico, mientras que Alfonso (2011), caracterizó películas comestibles de quitosano y evaluó la afectación de sus propiedades por la aplicación de aceites esenciales, indicando que las propiedades características de las películas de quitosano varían entre resistencia, grosor, apariencia, y aspectos organolépticos, de la misma forma Del Valle *et al.* (2004), desarrollaron un recubrimiento comestible a partir de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) para extender la vida útil de las fresas.



1.1 Objetivos de la investigación

Objetivo general

El objetivo es obtener y caracterizar películas comestibles elaboradas de mucílago de cáscara de tuna con diferentes porcentajes de sustitución de CMC: 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%; para luego aplicar dichas películas en tunas mínimamente procesadas, tomando como referencia la sustitución que presente mejores características.

Por estas consideraciones se ha desarrollado el presente trabajo de investigación con los objetivos que se especifican a continuación:

Objetivo específico

- Determinar las propiedades que caracterizan a las películas comestibles de mucílago de cáscara de 3 variedades tuna con sustituciones de CMC, tales como: Humectabilidad, permeabilidad, esfuerzo de fractura, deformación y módulo de elasticidad.
- Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas de tunas mínimamente procesadas envueltas con las películas comestibles de mucílago de cáscara de cada variedad de tuna, que presenten mejores propiedades.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Tuna

Tiene forma ovalada y sabor dulce, posee una cáscara dura y cubierta de espinas.

Se consume como fruta fresca y es de carácter altamente percedero. Sus semillas se comen a pesar de ser duras, es un producto considerado comercialmente como fruto exótico (Álvarez, 2007).

2.1.1.1. Variedades de tuna

Originaria de América, fue llevada por los españoles a Europa y desde allí distribuida hacia otros países del mundo. Esta gran dispersión geográfica dio origen a muchos ecotipos con características locales propias (Repo - Carrasco y Encina, 2008).

Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*, sin embargo, hay 10 a 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xoconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Como especies silvestres: *Opuntia hyptiacanta*, *O. leucotricha*, *O. robusta*. De las especies citadas, la mas ampliamente cultivada en distintas partes de mundo es *Opuntia ficus indica* y se emplea con diferentes propósitos (FAO, 2006).

Repo - Carrasco y René (2008), describen la presencia de 3 variedades de tunas en Perú: Roja, amarilla y blanca, encontrando que dichas tunas tienen una acidez baja y un relativamente alto contenido azúcar y vitamina C.

2.1.1.2. Patrón de consumo

A nivel mundial, la tuna se consume fundamentalmente en estado fresco y maduro, es considerada como un producto étnico debido a que se ha alcanzado una gran aceptación en los mercados de Europa Occidental y Oriental, especialmente en Alemania, Bélgica,

2.1.1.3. Propiedades nutricionales.

Debido a su composición (Tabla 1), la tuna puede aportar a la dieta una importante cantidad de nutrientes. Es una excelente fuente de energía ya que posee una gran concentración de hidratos de carbono (incluso mayor al durazno, manzana y ciruela).

Tabla 1 Constituyentes Químicos de Cladodios sin espinas y pulpa de fruta de *Opuntia* spp

	Peso seco base		Peso fresco en cactus	
	Cladodio		Cladodio (g/100g)	Pulpa de fruta (%)
Agua	-		88 – 95	84 – 90
Carbohidratos	64 – 71		3 – 7	12 – 17
Cenizas	19 – 23		1 – 2	0.3 – 1
Fibras	18		1 – 2	0.02 – 3.15
Proteínas	4 – 10		0.5 – 1	0.21 – 1.6
Lípidos	1 – 4		0.2	0.09 – 0.7

Fuente: Álvarez (2007).

Además, aporta vitaminas, aminoácidos, proteínas y minerales (Tablas 2, 3 y 4), las concentraciones de ácido ascórbico son superiores a las de la manzana, pera, uva y banana. De la gran cantidad de aminoácidos que aporta, 8 son esenciales (Tabla 2). Entre los minerales se destaca el calcio, presente en cantidades significativamente superiores a otras frutas. La presencia de compuestos fenólicos en la fruta de tuna le brinda propiedades antioxidantes.

Tabla 2 Contenido de aminoácidos libres en cladodio y pulpa de fruta de *Opuntia ficus indica*

Aminoácidos	Peso fresco base	
	Cladodio	Jugo de fruta (mg/l) ²
Alanina	0.6	87.2
Arginina	2.4	30.5
Asparagina	1.5	41.6
Ácido asparagínico	2.1	No válido
Ácido Glutamínico	2.6	66.1
Glutamina	17.3	346.2
Glicina	0.5	11.33
Histidina	2.0	45.2
Isoleucina	1.9	31.2
Leucina	1.3	20.6
Lisina	2.5	17.4
Metionina	1.4	55.2
Fenilalanina	1.7	23.3
Serina	3.2	174.5
Treonina	2.0	13.3
Tirosina	0.7	12.3
Triptófano	0.5	12.6
Valina	3.7	39.4
Ácido α – aminobutírico	No disponible	1.1
Carnosina	No disponible	5.9
Citrulina	No disponible	16.3
Ornitina	No disponible	No detectable
Prolina	No disponible	1265.2
Taurina	No disponible	434.3

Fuente: Álvarez (2007).

Tabla 3 Contenido de Vitaminas y Antioxidantes en cladodio y pulpa de fruta de *Opuntia* spp.

Componentes	Peso fresco en cactus (cada 100 g)	
	Cladodio	Pulpa de fruta
Ácido ascórbico	7 – 22 mg	12 – 81 mg ²
Niacina	0.46 mg	Cantidades detectadas
Riboflavina	0.60 mg	Cantidades detectadas
Tiamina	0.14 mg	Cantidades detectadas
Carotenos totales	11.3 – 53.5 µg	0.29 – 2.37 g
β – carotenos	No disponible	1.2 – 3.0 µg
Vitamina E total	No disponible	111 – 115 µg
Vitamina K1	No disponible	53 µg
Flavonoides		
- Derivados del kaempferol	No disponible	0.11 – 0.38 g
- Derivados de quercetina	No disponible	0.98 – 9 g

Fuente: Álvarez (2007).

Tabla 4. Contenido mineral de *Opuntia* spp. Cladodio sin espinas y pulpa de fruta

Componentes	Peso seco en cladodio (g/100 PS)	Peso fresco en pulpa de fruta (mg/100 g)
Calcio (Ca)	5.64 (5.6)	12.8 – 59
Magnesio (Mg)	0.19 (0.2)	16.1 – 98.4
Potasio (K)	2.35 (2.3)	90 – 200
Fósforo (P como PO ₄)	0.15 (0.1)	15 – 32.8
Sodio (Na)	0.4 (0.4)	0.6 – 1.1
Hierro (Fe)	0.14 µg (rastros)	0.4 – 1.5

Fuente: Álvarez (2007).



2.1.1.4 Características morfológicas

a) Tallo

La tuna es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro.

En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1,5 a 2.0 m de altura. El tallo a diferencia de otras especies de cactus, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (Castro *et al.*, 2009).

b) Cladodios

Forma pencas llamadas cladodios de 30 a 60 cm de largo, 20 a 40 cm de ancho y 2 a 3 cm de espesor, sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con aureolas que contienen espinas relativamente numerosas de color amarillo. Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que se cierran durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano, la hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. Las pencas y tallos tienen espinas (Castro *et al.*, 2009).

c) Hojas

Sólo en cladodios internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en su base, para defensa; las caducas solo se observan sobre tallos tiernos. Cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se encuentran las aréolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas (Castro *et al.*, 2009).

d) Flores

Están localizadas en la parte superior de la penca, de 6 a 7 cm de longitud, cada aréola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, unas pueden brotar el 1er año, otras el 2do y 3ro, las flores se abren a los 35 a 40 días de su brotación, sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco (Castro *et al.*, 2009).



Figura 1. Flores Jóvenes de *Opuntia ficus indica*

Fuente: Castro *et al.*, 2009

e) Fruto

Es una baya polisperma de forma ovoide esférica de color verde y toma diferentes colores cuando maduran, son comestibles agradables y dulces; la pulpa es gelatinosa conteniendo numerosas semillas, sus dimensiones y coloración varían según la especie, presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud (Castro *et al.*, 2009).



Figura 2. Cáscara y pulpa gelatinosa de los frutos de la tuna

Fuente: Castro et al., 2009

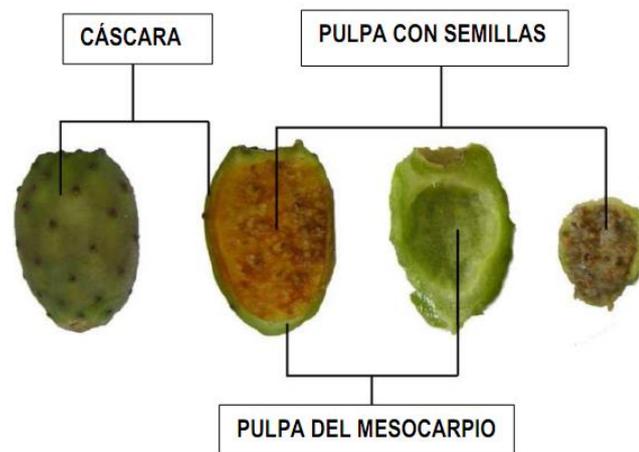


Figura 3. Componentes del fruto de tuna

Fuente: Castro et al., 2009

2.1.1.5 Clasificación científica

La tuna se encuentra en la clasificación siguiente (Castro *et al.*, 2009):

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Cactaceae



- Género: Opuntia
- Subgénero: Opuntia
- Especie: ficus-indica

2.1.2 Mucílago

Los mucílagos se definen en forma general como: polisacáridos poco ramificados que no conforman las paredes de células vegetales (Ornelas, 2011).

El mucílago es una sustancia vegetal viscosa, coagulable al alcohol. También es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad. Los mucílagos son análogos a las gomas por su composición y sus propiedades, resultan con el agua soluciones viscosas o se hinchan en ellas para formar una pseudodisolución gelatinosa (Hoffman, 1985).

El mucílago es un producto orgánico de origen vegetal, de peso molecular elevado superior a 200.00 g/g_{mol} cuya estructura molecular está conformada por polisacáridos celulósicos que contienen el mismo número de azúcares que las gomas y pectinas (Andrade y Rivadeneira, 2010).

2.1.2.1 Estructura de los mucílagos

El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado con muchos azúcares. Es un polímero lineal cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol y que está compuesto por polisacáridos emparentados con las pectinas (Ruiz y Guerrero, 2009). Es una molécula muy larga y compleja, entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: L – arabinosa, D – galactosa, L – ramnosa, D – xilosa y ácido galacturónico. La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a

diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales (Figura 4) (Abraján, 2008).

El mucílago también contiene una considerable cantidad de ácido galacturónico, el cual es un azúcar carboxilado, porque los iones hidrógeno tienden a disociarse de la parte carboxílica, de las subunidades galacturónicas, y es por eso que la molécula de mucílago tiende a ser fuertemente cargada negativamente (Ornelas, 2011).

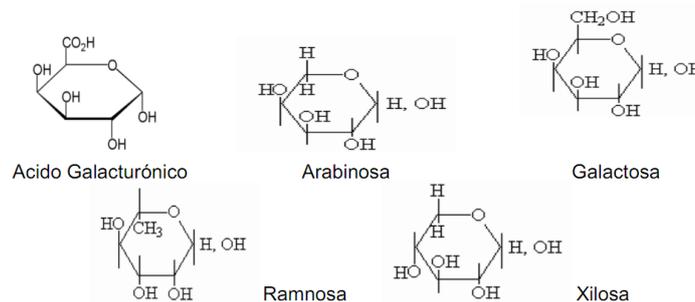


Figura 4. Compuestos del Mucílago

Fuente: Ornelas, 2011

Esta negatividad causa la unión de los iones calcio (Ca^{+2}) en muchos lugares en las moléculas del mucílago, por lo tanto el 20% del calcio insoluble en el tallo puede estar asociado con el mucílago. (Ornelas, 2011).

Su composición glucosídica es aproximadamente de 47% de arabinosa, 23% de xilosa, 18% de galactosa, 7% de ramnosa y 5% de ácido galacturónico respecto a su peso molecular. Existe una propuesta sobre la estructura del mucílago que incluye dos distintas fracciones solubles en agua, una es una pectina con propiedades gelificantes con Ca^{+2} y la otra es un mucílago sin propiedades gelificantes, se ha identificado que en *Opuntia ficus indica*, la fracción de polisacáridos solubles en agua con propiedades espesantes, representa menos del 10% del material soluble en agua (Ruiz y Guerrero, 2009).

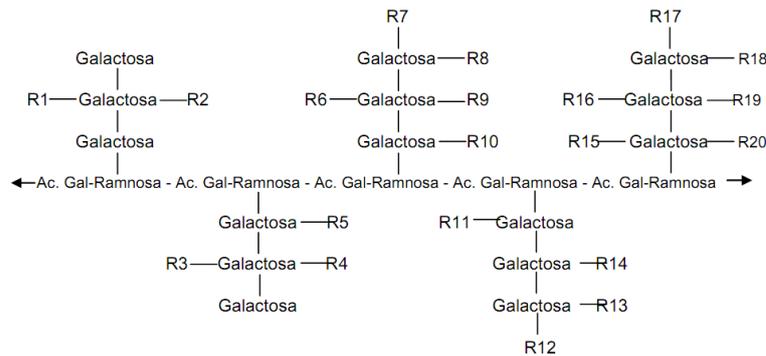


Figura 5. Posible Estructura del Mucílago

Fuente: Ornelas, 2011

El esqueleto de la molécula consiste en residuos alternados con ramnosa y ácido galacturónico los cuales están unidos a los lados con cadenas compuestas de tres residuos de galactosa. Los residuos de arabinosa y xilosa están ramificados en los lados de las cadenas de galactosa, xilosa parece estar unida a arabinosa, las cuales están entonces ligadas a la galactosa. (Ornelas, 2011) Algunas cadenas de galactosa tienen unidas a los lados arabinosa pero no xilosa, y algunas tienen una xilosa con dos residuos de arabinosa. Esta estructura representa solo una pequeña porción de molécula del mucílago, porque la unidad es repetida 500 veces (Figura 5).

2.1.2.2 Mucílago de tuna

Componente de gran importancia fisiológica debido a que es una fuente de energía para la planta, este compuesto se distribuye en toda la planta (nopal) en muy diversas proporciones. Sáenz y Sepúlveda (1993), encontraron rendimientos de 0.5% en la cáscara y 1.2% en los cladodios (Abraján, 2008). En la Tabla 5 muestra la composición química del mucílago de *Opuntia ficus indica* y la Tabla 6 muestra los monómeros presentes en el mucílago de diferentes especies de *Opuntia* así como su peso molecular. El mucílago está presente como su sal de calcio en las células de mucílago del parénquima de la penca (Trachtenberg y Mayer, citado por Abraján, 2008).

Tabla 5. Composición química del mucílago de *Opuntia ficus indica* (g/100g muestra)

Solvente	Humedad	Proteína	Cenizas	Nitrógeno	Ca	K
Etanol	4.9 ± 0.6	7.9 ± 1.5	36.2 ± 2.3	1.3 ± 0.2	10.9 ± 0.7	1.6 ± 0.2
Isopropanol	5.5 ± 1.1	6.1 ± 0.7	39.1 ± 2.4	1.0 ± 0.1	12.7 ± 1.6	2.0 ± 0.3

Fuente: Sepúlveda et al. (2007)

Este mucílago constituye un hidrocoloide que podría integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos además de que tiene una gran capacidad de absorción de agua.

Tabla 6. Peso Molecular (PM) y monómeros (galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa, ácido galacturónico) presentes en mucílagos de *Opuntia* ssp. Según diferentes estudios.

Autor	PM	Gal	Ram	Ara	Xil	Uro
Trachtenberg (1981)	4.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Trachtenberg (1982)	1.56 x 10 ⁶					
Nobel (1992)		+	+	+	+	+
Sáenz (1993)		+	+	+	+	+
Forni (1994)		+		+	+	+
Cárdenas (1997)	3 x 10 ⁶					
Medina (2000)	2.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Cárdenas (2008)		+	+	+	+	
Majdoub (2001)	6.92 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Majdoub (2001)	2.25 x 10 ⁵		+			+
Majdoub (2001)	13.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Habibi (2004)		+	+	+	+	+

Fuente: Sáenz et al. (2006)



También se atribuyen a los mucílagos propiedades como reemplazantes de grasas en diversos alimentos y también como un ligante de sabor (Cárdenas *et al.* 1997). También se ha estudiado la capacidad como agente emulsionante de la goma o mucílago de *Opuntia ficus indica*. Encontrándose que:

- El mucílago reduce la tensión superficial e interfacial.
- Estabiliza emulsiones del tipo aceite – agua.
- Forma gotas pequeñas de aceite.
- Los sistemas a los que se agregan no floculan

Espinoza (2002), estudio la adición de dispersiones de mucílagos de nopal en distintas concentraciones (0.5 y 0.8%) a espumas elaboradas con clara de huevo, demostrando que la adición de mucílago de nopal se manifiesta en una menor sinéresis y un mayor volumen después de 48 horas (Abraján, 2008).

2.1.3 Películas comestibles

Una película comestible es definida como una capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como recubrimiento, o colocada sobre o entre componentes alimenticios, mientras que por su parte Guilbert (1986), afirma que las películas comestibles se definen como una o varias capas de un material que puede ser consumido por los seres vivos y que a la vez pueden actuar como barrera a la transferencia de agua, gases o solutos de alimentos de alimentos (Miller and Krochta, 1997).

2.1.3.1 Propiedades de las películas

2.1.3.1.1 Propiedades de humectabilidad de películas en solución

La película debe ser diseñada teniendo en cuenta algunas propiedades de superficie, con el fin de satisfacer una adecuada adherencia y espesor en la superficie



del alimento. Con una extensión adecuada de la solución de la película en la superficie del alimento, esto es posible para evitar los inter espacios entre el alimento y la película, y evitar zonas gruesas en la película que puede producir una condición anaerobia que podría conducir al deterioro del alimento. Esta afinidad es fundamental en el diseño de la cobertura considerando que la difusión efectiva de una solución de recubrimiento en la piel de la fruta es grandemente influenciada con la humectabilidad de la superficie por la solución del recubrimiento. (Choi *et al.*, 2002). El principal parámetro para caracterizar la humectabilidad de la superficie es el equilibrio del ángulo de contacto (θ) (Skurtys *et al.*, 2011).

La humectabilidad (w_s) de un sólido por un líquido se obtiene considerando el equilibrio entre las fuerzas adhesivas (w_a) del líquido en el sólido y las fuerzas cohesivas (w_c) del líquido cuyo valor puede ser negativo o cero (mientras más cerca de 0, la superficie es más húmeda), cada una de estas fuerzas actúa en forma distinta. Mientras que las fuerzas adhesivas (w_a) hacen que el líquido se extienda sobre la superficie solida plan, las fuerzas cohesivas (w_c) causa el encogimiento de la gota. (Choi *et al.*, 2002).

Sin embargo las características energéticas de la superficie son un parámetro fundamental en la capacidad de humectación del sólido. Zisman (1964) midió y estableció que aquella superficie sólida, con tensión superficial baja 100m Nm^{-1} puede ser considerada como una baja energía superficial y por lo tanto el ángulo de contacto formado por una gota del líquido en una superficie solida es una función lineal de la tensión superficial del líquido.(Cerqueira *et al.*, 2009). Por otra parte, cuando se trata de un líquido molecular simple (con predominio de las fuerzas de van der waals). Zisman observo que la tensión superficial critica (γ_c) de la superficie del solido es esencialmente independiente de la naturaleza del líquido y es característico



del sólido solo (De Genes, 1945). En una baja energía superficial puede dar lugar a la humectación parcial o total, dependiendo del líquido utilizado. Esto implica que en el caso de encontrar una solución líquida que produzca baja dispersión en una baja energía superficial dada, debe ser recomendada una solución líquida de tensión superficial mayor que la tensión superficial crítica (γ_c).

2.1.3.1.2 Propiedades de barrera en películas comestibles

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de las películas comestibles es la resistencia a la migración de humedad. Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como polisacáridos, así como aquellos a base de proteínas muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica. Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua a este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos, que emulsificador en la solución formadora de película o formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad. (Yang & Paulson, 2000).

2.1.3.1.2.1 Permeabilidad al vapor de agua

Se define como la resistencia al flujo de un penetrante o permeante a través de un recubrimiento (película) impulsado por un gradiente de presión o concentración (Kester *et al.*, 1994). El transporte del permeante (vapor de agua o gas) puede ocurrir por 2 mecanismos:

Difusión Activa: El proceso consiste en la formación de una apertura de un espacio (un hueco) entre una serie de segmentos de una cadena de un polímero debido a oscilaciones de los segmentos, un estado activo; seguido por el transporte del permeante dentro de este

hueco antes de que los segmentos regresen a su estado normal, (Miller y Krochta, 1997). Ocurre en ausencia de fracturas, poros u otras imperfecciones de la superficie del recubrimiento o película, e involucra en parte, la solubilización del penetrante en la matriz de la película (del lado de mayor concentración o presión), la difusión de toda la película es impulsada por el gradiente de concentración o presión y finalmente, su liberación o evaporación en el lado opuesto de la película.

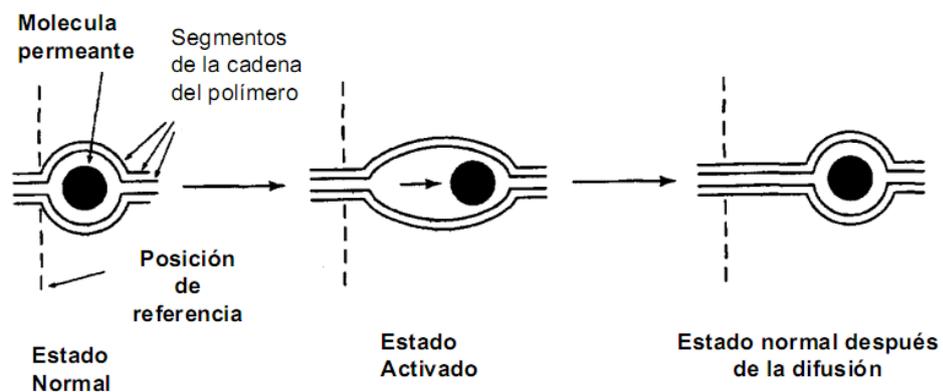


Figura 6. Proceso de Difusión Activa

Fuente: Miller and Krochta, 1997

Difusión Capilar: Se da en materiales porosos o que tienen imperfecciones como canales o fisuras. En este caso se considera que no algún tipo de interacción entre la barrera y el agente permeante, y por consiguiente el paso de las sustancias es libre.

Experimentalmente, la permeabilidad puede determinarse de acuerdo con la expresión:

$$\text{Permeabilidad} = \frac{\text{Peso del material penetrante} \times \text{grosor}}{\text{Área} \times \text{tiempo} \times \text{Diferencia de la presión parcial}}$$

$$P = \frac{g \times cm}{m^2 \times dia \times mm Hg}$$

Bosquez (2003), afirma que el grosor de las películas comestibles está relacionadas con la permeabilidad, indicando que la permeabilidad de las películas elaboradas a partir de goma de mezquite, aumento con el grosor, según lo muestra la Tabla 7.

Tabla 7. Permeabilidad al vapor de agua (g.mm.kPa-1.d-1.m-2) en función del grosor, estimados con los modelos de regresión no lineales.

Grosor (mm)	MCOM	MCO	MC	MCB
0.150	50.00	74.17	78.21	153.56
0.250	104.46	125.74	133.38	
0.350	115.74	134.67	144.82	167.54
0.450	155.87	233.53	176.55	193.32
				240.86

Fuente: Bosquez (2003)

2.1.3.1.2.2 Propiedades mecánicas de películas comestibles

Los ensayos mecánicos son realizados con un analizador de textura, considerando las siguientes propiedades mecánicas:

- Esfuerzo de Fractura (TF)
- Porcentaje de deformación de Hencky en el punto de fractura (% E_H)
- Módulo de elasticidad (E) que es la pendiente de la curva en tramo lineal inicial.

La curva Fuerza – Distancia obtenidas son transformadas en curvas de Esfuerzo – Deformación de Hencky (Peleg, citado por Abraján, 2008) utilizando las ecuaciones 1 y 2:

$$T = F \frac{L_0 - L_T}{A_0 L_0}$$

Ecuación 1



Entonces

$$\varepsilon_H = \ln L_0 + \frac{L_T}{L_0} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

T: Esfuerzo (Pa)

F: Fuerza (N)

L₀: Longitud inicial del film (m)

L_T: Longitud del film en el tiempo *t* (m)

Tunas mínimamente procesadas

Las tunas cortadas sufren de daños en el proceso y no llegan a los 7 días, es por ello que se trabajan tunas enteras peladas, como tunas mínimamente procesadas. Se realizan procesos previos que describen desinfección de la tuna entera (con cáscara); las tunas son lavadas con agua clorada (100 ppm) y drenadas; ya que el centrifugado mancha extremadamente la fruta por magulladuras (100 ppm), seguidamente el despuntado y pelado; la inmersión en ácido cítrico al 1% durante 10 min y el centrifugado durante 2 minutos, para finalmente empacarlas en bolsas de PE (Horst y Ljubica, 2007).

Todo alimento considerado fresco o mínimamente procesado tiene proyectada una vida en anaquel relativamente baja, es por ello que es importante considerar factores que contribuyan a evaluar la calidad física, química y microbiológica del alimento después de su almacenamiento.



A.- Características Químicas

Se consideran como más importantes los siguientes análisis fisicoquímicos (Ochoa y Guerrero, 2012):

- **Grados °Brix:** Representa el contenido de azúcar presente en el jugo de fruta.
- **pH:** La determinación del pH se realiza siguiendo el método 981.12 de la AOAC (2000) que describe la inmersión directa del electrodo en el jugo del fruto utilizando un potenciómetro.
- **Acidez Titulable:** Se determina la acidez titulable por el método 942.15 de la AOAC (2000), utilizando una solución valorable de NaOH 0.1N y fenolftaleína como indicador, en el caso de la tuna se reporta el porcentaje como ácido cítrico.

B.- Características Físicas

- **Pérdida de peso:** La pérdida de peso es evaluada en frutos enteros utilizando el método de la AOAC (2000), el cual describe que el porcentaje de pérdida de peso se calcula en base a la diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final utilizando una balanza de 2000 ± 0.1 g (Ochoa y Guerrero, 2012).
- **Firmeza:** Se determina el esfuerzo necesario para penetrar la fruta utilizando un Texturómetro, siguiendo el método reportado por Del Valle *et al.* (2005), utilizando una aguja de 3 mm de diámetro, distancia de penetración de 5 mm en pulpa, a una velocidad de 1 mm/s (Ochoa y Guerrero, 2012).

C.- Características Microbiológicas

Las frutas y vegetales normalmente están expuestos a ser infectados por bacterias, hongos y virus, la invasión microbiana de los tejidos vegetales ocurre durante varios estadios de su desarrollo y cuanto mayor sea la extensión de los invadidos aumentará



el deterioro (Pelczar *et al.* 1994). Es de ello que se deriva la importancia de realizar análisis microbiológicos en frutas frescas, para el análisis microbiológico se evalúa en conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Con el objetivo de establecer condiciones microbiológicas de calidad sanitaria e inocuidad que deben cumplir los alimentos y bebidas en estado natural, elaboradas o procesadas, para ser considerados aptos para el consumo humano, el MINSA en conjunto con DIGESA, establecen criterios microbiológicos que los alimentos deben cumplir íntegramente para ser considerados aptos para el consumo humano, en este entender establecen los siguientes criterios para frutas, hortalizas, frutos secos y otros vegetales (Anexo I).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación geográfica del estudio

El lugar de ejecución fue la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, la elaboración de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se realizó en los laboratorios de Post cosecha de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial y Procesamiento y Transformación de Alimentos de la escuela profesional de Nutrición Humana.

La medición del ángulo de contacto en soluciones formadoras de películas de mucílago de cáscara de tuna se realizó en el laboratorio de Imágenes de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Las pruebas de permeabilidad se realizaron en el laboratorio de Procesamiento y Transformación de Alimentos de la escuela profesional de Nutrición Humana.

Las pruebas mecánicas se efectuaron en el laboratorio de Física Experimental I de la escuela profesional de Físico – Matemáticas, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

3.2 Periodo de duración del estudio

Se realizo durante los meses de enero a mayo del 2015:

3.3. Procedencia del material utilizado

a) Insumos

- Tuna (4 - 7 kilogramos) proveniente de Carumas – Moquegua
- Aceite esencial de canela (90 ml) obtenida de Santa Natura - Lima
- CMC (carboximetilcelulosa) densidad 40 lb/cu.ft. (500 g)b – Lima
- Glicerol ($C_3H_5(OH)_3$ – 1L) proveniente de Movilab – Lima



b) Reactivos

- Gel de sílice en perlas proveniente de Movilab - Lima
- Agua destilada - Puno
- Ácido cítrico al 1% proveniente de Movilab - Lima
- Solución valorable de NaOH 0.1N proveniente de Movilab - Lima
- Fenolftaleina proveniente de Movilab - Lima
- Caldo Verde Brillante – BRILA 2% (40g/L) proveniente de Movilab - Lima
- Agar Plate Count (23.5g/L) proveniente de Movilab - Lima
- SS Agar (60 g/L) proveniente de Movilab - Lima

c) Instrumentos y Equipos

- Centrífuga angular
- Cocinilla eléctrica
- Agitador magnético *Rovax*, Typ:M6, serie 122271
- Penetrómetro
- Licuadora de 8 velocidades Oster
- Soporte Universal
- Sensor de fuerza modelo N°CI-6537
- Software Data Studio, creado por PASCO
- Software *Magix Video Deluxe 16*
- Vernier digital, marca *Stainless*
- Placa rectangular de teflón de 185 cm²
- Termómetro de mercurio marca Pirex
- Agitadores de vidrio
- Vasos pp 250 ml



- Jeringas de 5 μ L
- Placas Petri 90-100mm de vidrio
- Cámara digital D7000 marca Nikon
- Computador Core i3, Windows 7
- Tubos de incubación
- Pipetas graduadas de 15 y 10 ml (flujo total)
- Probetas
- Pinza
- Contador de colonias, *LightBox*, modelo Petite
- Autoclave, marca Greetmed, modelo LS- B50L-II, serie N°186
- Balanza analítica, marca Monolec , modelo PB3002 – S
- Balanza analítica, marca Kern, modelo ABS-200-4, serie WB1210336
- Estufa, marca Binder, modelo D78532 – Tufflinger / Alemania
- Incubadora, marca Lab Incubador, modelo IN-601, serie 7100842
- pH – metro, marca Jenway, modelo 3510.

3.4 Población y muestra del estudio

La población del estudio realizado es las cascaras de Tuna en las tres variedades escogidas, de esta forma se logró determinar en laboratorio la muestra película comestible.

3.5 Diseño estadístico.

Se utilizó un experimento factorial bajo el Diseño Bloque Completo al Azar (DBCA), en el que se considera el siguiente modelo lineal aditivo:



$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + B_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Ecuación 3

$i = 1$ y 2 (tuna envuelta, tuna recubierta)

$j = 1, 2, 3$ (Propiedades químicas y físicas)

$k = 1, 2, 3, 4$ (Tiempo)

$l = 1, 2, 3$ (Repeticiones)

Donde:

Y_{ijk} = Es la variable de respuesta del k -ésimo día bajo la j -ésima propiedad, sujeto al i -ésimo tratamiento.

μ = Constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de la j -ésima propiedad.

γ_k = Efecto del k -ésimo día.

B_l = Efecto de la l -ésima repetición.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de la interacción de la i -ésima propiedad, en el k -ésimo día.

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de la interacción de la j -ésima propiedad, en el k -ésimo día.



$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento, en la j -ésima propiedad, sujeto al K -ésimo día.

ϵ_{ijkl} = Efecto del error experimental, que está distribuido como ϵ_{ijkl} .

3.6 Procedimientos.

3.6.1 Mucílago:

Para la extracción del mucílago se empleó la metodología mejorada propuesta por Abraján (2008) para la extracción de la solución contenedora de mucílago, se detalla como sigue:

Clasificación: La materia prima, cáscara de tuna, se clasificó por variedad blanca, roja y amarilla.

Pelado: Se realizó un pelado manual con cuchillo, eliminando la piel (cutícula) de la cáscara.

Molienda: Se mantuvo una concentración de 1:1 (Cáscara de tuna: agua destilada) para facilitar la molienda, se empleó un licuadora, hasta conseguir la total molienda de la cáscara.

Escaldado: El escaldado del producto molido se realizó a 80°C durante 5 min

Centrifugado: Las condiciones de centrifugado para la fase acuosa es de 5000 rpm, 30 min.

Precipitación: La precipitación de mucílago de la fase acuosa de la extracción se llevó a cabo por incorporación de acetona en una relación de 1:3 (solución acuosa: solvente) que provoca la insolubilización de los polímeros. El precipitado de mucílago se separa por filtración.

Secado: El secado del precipitado consiste en la eliminación del solvente por secado.

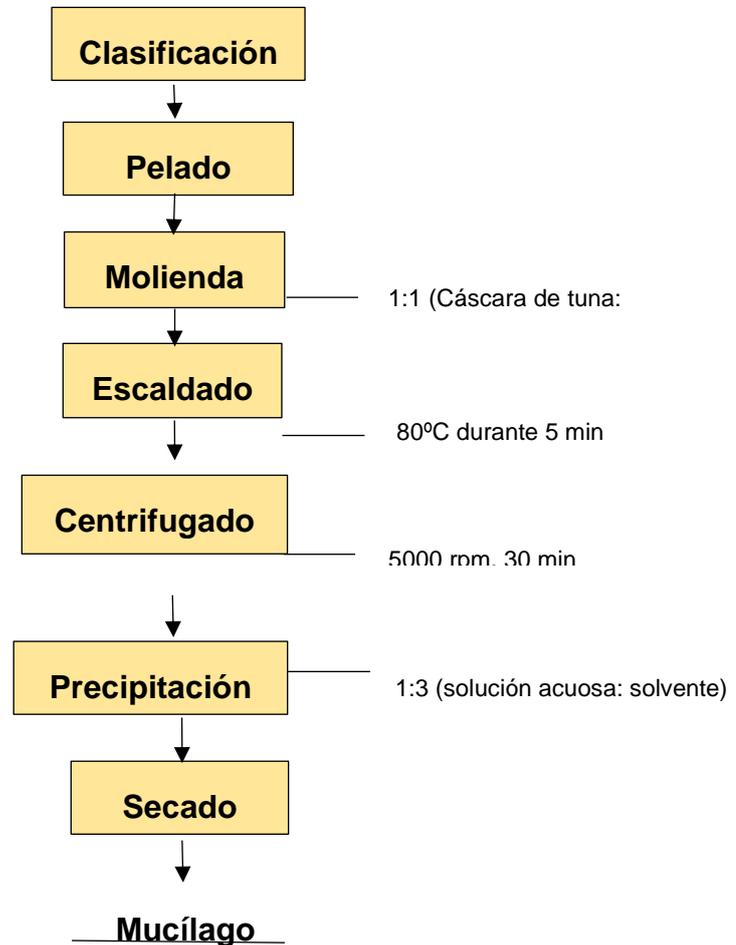


Figura 7. Diagrama de Flujo para la obtención de la Solución de Mucílago

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Películas comestibles:

Se empleó la metodología propuesta por Ramírez (2011), como sigue:

Recepción de la materia prima: En esta etapa se realizó la recepción de materia prima: Solución contenedora de mucílago, CMC, aceite esencial de canela y glicerol.

Pesado: Se pesó cada componente manteniendo la siguiente composición: 0.5% de Aceite esencial de Canela, 0.5% de Glicerol, CMC (en los distintos porcentajes a



experimental: 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%), y se midió hasta la solución contenedora de mucílago, hasta conseguir un volumen de 100 ml.

Acondicionado: Se midió la solución contenedora de mucílago; y se dispersó los distintos porcentajes de CMC.

Agitación: El CMC se disolvió completamente con ayuda de un agitador magnético, en el cual se calentó el CMC con el mucílago hasta conseguir la gelatinización de sus gránulos, La gelatinización se realizó a 45°C por 20 min con agitación constante.

Mezcla: Dicha solución se mantuvo en agitación constante, luego 0.5% de glicerol y 0.5% de aceite esencial de canela fueron adicionados y mezclados a 45°C y 920 rpm durante 60 min.

Moldeado: Una vez obtenida la solución formadora de película, 20 ml se vertió en placas rectangulares de teflón de 185 cm² para que obtenga dicha forma.

Secado: Las placas fueron llevadas a una estufa de secado durante 24 horas a una temperatura de 50°C.

Desmoldado: Una vez formada la película se desmoldó y se realizaron las pruebas necesarias para su caracterización.

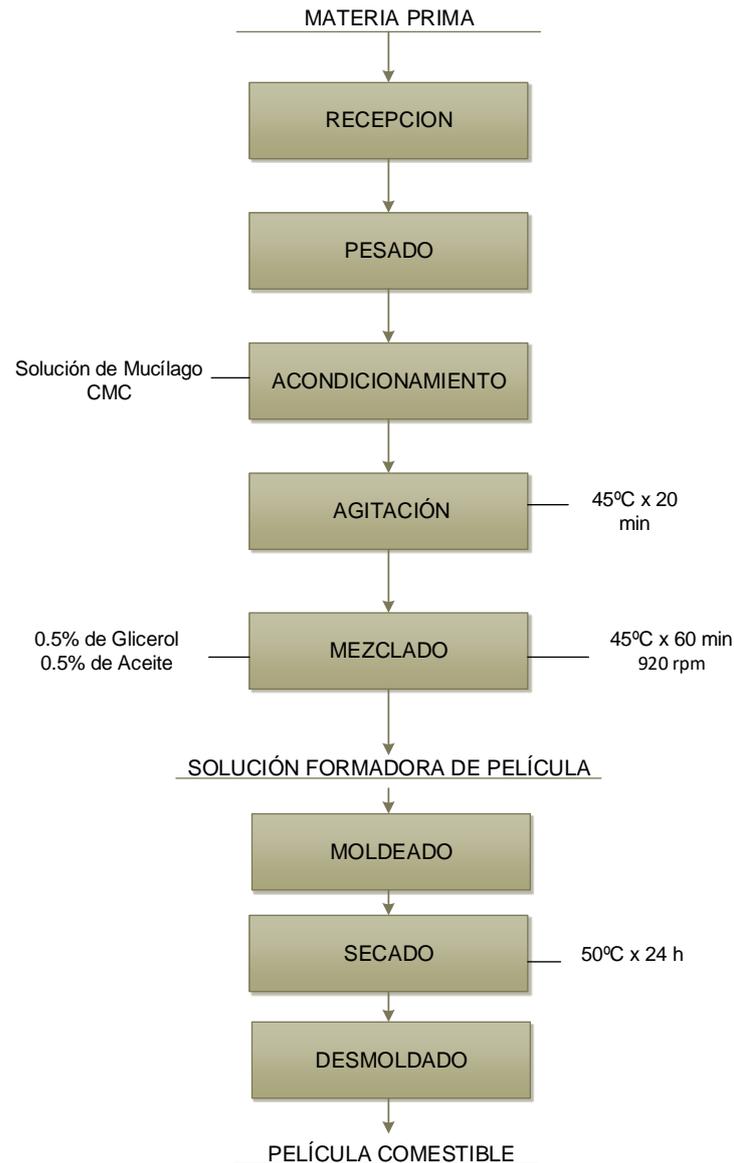


Figura 8. Diagrama de flujo para la elaboración de Películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Caracterización de las películas

a) Medición del espesor

Para la evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera es importante la determinación del espesor de las películas, estos fueron medidos con un vernier digital marca *Stainless* en cada muestra se tomaron 5 mediciones para cubrir varias secciones de la misma.



b) Propiedades mecánicas

Los ensayos mecánicos se realizaron con un Sensor de fuerza, modelo N°CI-6537 con pinzas de tensión (A/TG), las condiciones del ensayo fueron: distancia y fuerza. Las mediciones (6 repeticiones por formulación) se llevaron a cabo como se describe:

1. Las películas fueron cortadas con 10 mm de ancho y 50 mm largo.
2. Se dispuso el sensor de fuerza en un soporte universal en el que se colocó la película de manera vertical.
3. El período de tiempo en el que se realizó el esfuerzo hasta el momento de la ruptura de la película, fue registrado en filmación por una cámara fotográfica de 12,1 Mega Pixeles.
4. Las grabaciones fueron disgregadas por el software MAGIX Video Deluxe 16, con el objetivo de obtener los fotogramas iniciales y finales (antes de la ruptura) de las películas biodegradables.
5. Por la técnica de fotogrametría digital llevada a cabo en el *software* AutoCAD 2013 se obtuvieron las distancias finales, por proporcionalidad a las distancias iniciales conocidas (50mm).
6. El esfuerzo de fractura se determinó con la siguiente ecuación:

$$T = F \frac{L_0 - L_T}{A_0 L_0} \quad \text{Ecuación 4}$$

7. El porcentaje de deformación de Hencky fue determinado con la ecuación:

$$\varepsilon_H = \ln L_0 + \frac{L_T}{L_0} \quad \text{Ecuación 5}$$



c) Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se determinó por el método de la ASTM E95: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials.

3.6.4 Tunas mínimamente procesadas

Para trabajar las tunas mínimamente procesadas, se empleó la metodología propuesta por Horst y Ljubica (2007), que describe los siguientes procesos:

Selección: Se seleccionaron las frutas, tunas, de acuerdo a la variedad, tamaño y presencia de magulladuras.

Lavado: La tuna entera (incluida la cáscara) fue lavada con agua clorada 100ppm.

Ecurrido: El agua excedente fue drenada durante 30 segundos.

Pelado: Se retiró la cáscara que cubre el fruto, de manera manual con la ayuda de un cuchillo.

Inmersión: Se realizó una dilución de ácido cítrico al 1% en agua destilada, en dicha solución se realizó la inmersión de la tuna pelada durante 10 min.

Centrifugado: Se centrifugó la tuna durante 2 min a una velocidad suave.

Envasado: Se empleó la película comestible de mucílago de cáscara de tuna como material envolvente y la solución formadora de película como material de recubrimiento.

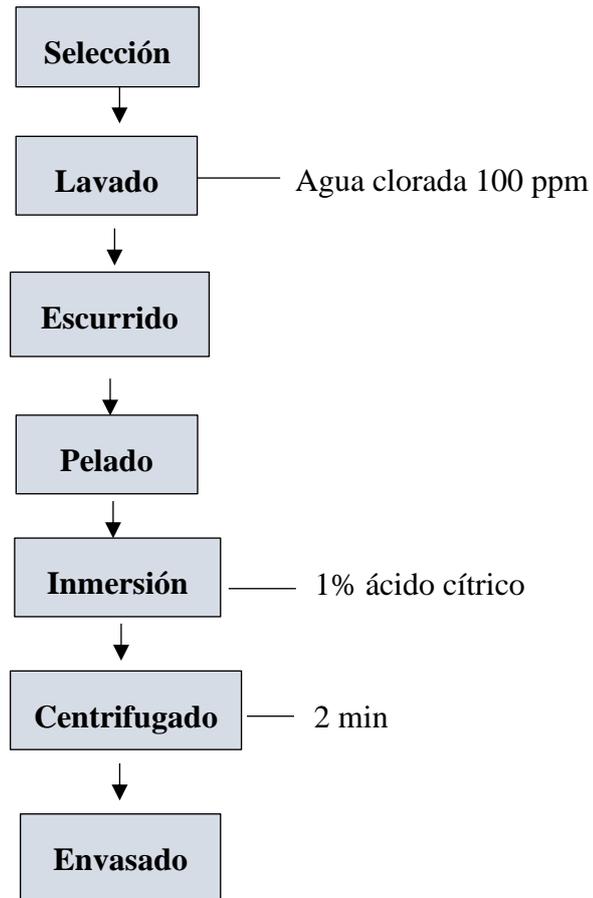


Figura 9. Diagrama de Flujo para la elaboración de Tunas Mínimamente Procesadas

Fuente: Elaboración propia

3.6.5 Metodología para el análisis físico, químico y microbiológico de tunas mínimamente procesadas

Los análisis se realizaron semanalmente durante casi un mes en almacenamiento, considerando la toma de datos los días: 0, 6, 12, y 18.

Adecuación de la muestra

La tuna fue triturada usando un multiprocesador de alimentos doméstico a baja velocidad, 5 g de tuna en 45 ml de agua destilada, las pepas fueron separadas usando tela para quesería, el jugo fue usado inmediatamente. Todos los análisis fueron realizados por triplicado.



a) Características Físicas

- Pérdida de peso, método de la AOAC (2000). El porcentaje de pérdida de peso fue calculado en base a la diferencia de peso entre el peso inicial y final usando una balanza digital.
- Resistencia a la penetración, se realizó utilizando un texturómetro, siguiendo el método reportado por del Valle et al. (2005), para ellos se empleó una aguja de 16 mm de diámetro para alimentos blandos, distancia de penetración de 5 mm y una velocidad de 1 mm/s.

b) Características Químicas

- pH, método 981.12 de la AOAC (2000) que describe la inmersión directa del electrodo en el jugo del fruto utilizando un potenciómetro.
- Sólidos Solubles Totales, método 932.12 de la AOAC (2000) se empleó un refractómetro.
- Acidez titulable, método 942.15 de la AOAC (2000), se usó una solución valorable de NaOH 0.1N y fenolftaleína como indicador, en el caso de la tuna se reportó el porcentaje como ácido cítrico.

c) Características Microbiológicas

Las pruebas microbiológicas fueron realizadas por siembra en placa con cultivos específicos para cada microorganismo: Aeróbios mesófilos, *E. coli* y *Salmonella sp* de acuerdo a la Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad e inocuidad para: Frutas, hortalizas, frutos secos y otros vegetales (Anexo I).



3.6.6 Unidades de análisis y observaciones

3.6.6.1 Factores de estudio para el primer objetivo

“Determinar las propiedades que caracterizan a las películas comestibles de mucílago de cáscara de 3 variedades tuna con sustituciones de CMC, tales como: Humectabilidad, permeabilidad, esfuerzo de fractura, deformación y módulo de elasticidad”

A) Variedades de tuna:

- Tuna roja
- Tuna amarilla
- Tuna blanca

B) Sustituciones de CMC:

- | | |
|----------------|----|
| ○ 0.5 % de CMC | T1 |
| ○ 1.0 % de CMC | T2 |
| ○ 1.5 % de CMC | T3 |
| ○ 2.0 % de CMC | T4 |

3.6.6.2 Factores de estudio para el segundo objetivo:

“Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas de tunas mínimamente procesadas envueltas con las películas comestibles de mucílago de cáscara de cada variedad de tuna, que presenten mejores propiedades”

- Tuna mínimamente procesada Envuelta con película comestible (variedad roja)
- Tuna mínimamente procesada Envuelta con película comestible (variedad amarilla)
- Tuna mínimamente procesada Envuelta con película comestible (variedad blanca)



3.7 Variables

3.7.1 Variables de respuesta para el primer objetivo:

“Determinar las propiedades que caracterizan a las películas comestibles de mucílago de cáscara de 3 variedades tuna con sustituciones de CMC, tales como: Humectabilidad, permeabilidad, esfuerzo de fractura, deformación y módulo de elasticidad”

A) Propiedades de humectabilidad

- Medición del ángulo de contacto

B) Propiedades de barrera

- Espesor (mm)
- Permeabilidad ($\frac{g \times cm}{m^2 \times dia \times mm Hg}$)

C) Propiedades mecánicas

- Esfuerzo de fractura (Pa)
- Deformación de Hencky (%)
- Módulo de elasticidad (pendiente de la curva en el tramo lineal inicial)

3.7.2 Variables de respuesta para el segundo objetivo:

“Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas de tunas mínimamente procesadas envueltas con las películas comestibles de mucílago de cáscara de cada variedad de tuna, que presenten mejores propiedades”

A) Características Físicas

- Pérdida de peso (g)
- Resistencia a la penetración

B) Características Químicas

- pH
- Sólidos solubles Totales



- Acidez Titulable

C) Características Microbiológicas

- Aeróbios mesófilos
- *E. coli*
- *Salmonella sp*

3.8 Diseño de investigación

- a) Evaluación de las propiedades mecánicas, propiedades de humectabilidad de las películas biodegradables

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95% y el test de *Tukey* ($p \leq 0.05$) para determinar las posibles diferencias entre las sustituciones de CMC de las películas comestibles, para lo cual se empleó el paquete estadístico *STATGRAPHICS centurion XVI*.

Las variables de estudio y respuesta fueron los tratamientos (formulaciones) y los resultados de las propiedades mecánicas de las películas respectivamente. Se utilizó un experimento bajo el diseño completo al azar (DCA) con 5 repeticiones, ajustado al siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \epsilon_{ij} \quad \text{Ecuación 6}$$

$i = 1, 2, 3$ (Formulaciones)

$j = 1, 2, 3, 4, 5$ (Repeticiones)

Donde:



Y_{ij} = Es una observación en la j – ésima unidad experimental, sujeto a la i -ésima formulación.

μ = Es el efecto de la media general o constante común.

ξ_{ij} = Efecto verdadero de la j – ésima unidad experimental (replica), sujeto a la i -ésima formulación (error experimental).

b) Evaluación de la calidad de almacenamiento de las tunas mínimamente procesadas recubiertas y envueltas con películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANVA), con un nivel de confianza del 95% y el test de Duncan ($p \leq 0.05$) para determinar las posibles diferencias entre las tunas recubiertas con solución formadora de película y las tunas envueltas con película para lo cual se empleó el paquete estadístico *STATGRAPHICS centurion XVI*.

Las variables de estudio fueron los tratamientos (tunas recubiertas y tunas envueltas) a través del tiempo de evaluación, teniendo como indicadores las propiedades químicas y físicas de las tunas.

Se utilizó un experimento factorial bajo el Diseño Bloque Completo al Azar (DBCA), en el que se considera el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + B_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \xi_{ijkl}$$

Ecuación 7

$i = 1$ y 2 (tuna envuelta, tuna recubierta)

$j = 1, 2, 3$ (Propiedades químicas y físicas)



$k = 1, 2, 3, 4$ (Tiempo)

$l = 1, 2, 3$ (Repeticiones)

Donde:

Y_{ijk} = Es la variable de respuesta del k -ésimo día bajo la j -ésima propiedad, sujeto al i -ésimo tratamiento.

μ = Constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de la j -ésima propiedad.

τ_k = Efecto del k -ésimo día.

B_l = Efecto de la l -ésima repetición.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento.

$(\alpha\tau)_{ik}$ = Efecto de la interacción de la i -ésima propiedad, en el k -ésimo día.

$(\beta\tau)_{jk}$ = Efecto de la interacción de la j -ésima propiedad, en el k -ésimo día.

$(\alpha\beta\tau)_{ijk}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento, en la j -ésima propiedad, sujeto al K -ésimo día.

ϵ_{ijkl} = Efecto del error experimental, que está distribuido como ϵ_{ijkl} .



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Propiedades de humectabilidad de las películas comestibles

Se realizó la medida del ángulo de contacto durante 60 segundos para ver el desarrollo de su estabilidad a través del tiempo, en la tabla 8 se muestra los valores medios de los ángulos de contacto de las soluciones formadoras de películas, se observa que la adición de CMC tendió a mantener equilibrado el ángulo de contacto formado entre la solución y la superficie medida a los 0 segundos este fenómeno se muestra en las 3 variedades. Cuando las gotas de solución formadora de película con 0.5% de CMC son depositadas sobre la piel de tuna los ángulos medidos son inferiores y empiezan a reducirse de forma crítica encontrando valores de 63.85° (tuna blanca), 58.046° (tuna naranja) y 39.195° (tuna roja), lo cual se comparó con los valores obtenidos por Ramirez (2011), en gotas de agua destilada y extracto de hojas de murta que se depositaron sobre pieles de manzana y membrillo. Sin embargo los ángulos de contacto en equilibrio alcanzados a través del tiempo fueron 64.887° (tuna blanca), 71.32° (tuna naranja) y 56.425° (tuna roja) los que son comparados con ángulos alrededor de 76 a 73 y 82 a 78 medidos en pieles de manzana y membrillo respectivamente reportados también por Ramírez (2011), implica que hay una interacción entre la solución formadora de película y la superficie de la tuna, entonces se puede inferir que las moléculas presentes en el mucílago de cáscara de tuna tienden a agruparse en la interface liquido aire (presencia de la gota) manteniendo firmemente unidas a las moléculas de CMC, entonces a para valores altos de CMC el equilibrio de la gota se alcanza en tiempo corto.

Tabla 8. Valores medios de ángulo de contacto (°) de las películas de cáscara de 3 variedades de tuna con diferentes % de CMC

T	TUNA BLANCA				TUNA NARANJA				TUNA ROJA			
	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
0	81.12 ±		77.843	82.54 ±	71.106	71.435	75.05 ±	79.59 ±	53.37 ±	60.53 ±	66.60 ±	75.49 ±
	3.3549	77.467 ±	±	8.9441	±	±	7.7236	8.2443	9.5379	8.3327	7.5184	7.7284
		7.9717	7.9834		8.1680	7.6124						
10	68.30 ±	62.07 ±	62.363	66.596	58.046	61.635	65.24 ±	71.32 ±	39.195 ±	48.825 ±	48.575 ±	56.22 ±
	8.1390	8.0579	±	±	±	±	7.6208	7.4576	13.4293	10.6313	10.7068	8.9588
		7.9824	8.1152	9.3985	8.3060							
20	65.27 ±	57.953 ±	59.01 ±	65.613	58.046	61.635	64.21 ±	71.32 ±	39.195 ±	47.005 ±	48.575 ±	56.425
	8.3118	8.9903	8.5203	±	±	±	7.7428	7.4576	13.4293	11.1306	10.7068	±
			8.4637	9.3985	8.3060							8.9101
30	64.36 ±	57.033 ±	58.726	64.887	58.046	61.635	64.21 ±	71.32 ±	39.195 ±	47.005 ±	48.575 ±	56.425
	8.0768	9.2486	±	±	±	±	7.7428	7.4576	13.4293	11.1306	10.7068	±
		8.6106	8.3561	9.3985	8.3060							8.9101
40	64.08 ±	57.033 ±	58.726	64.887	58.046	61.635	64.21 ±	71.32 ±	39.195 ±	47.005 ±	48.575 ±	56.425
	7.7512	9.2062	±	±	±	±	7.7428	7.4576	13.4293	11.1306	10.7068	±



La Tabla 9 muestra los valores de humectabilidad para cada ángulo de contacto de acuerdo al porcentaje de CMC obtenidos de las soluciones formadoras de películas en piel de tuna, se observa que la capacidad de humectación de las soluciones formadoras son buenas esto debido a los ángulos de contacto, entre 53.697 y 64.210, lo que sugiere una buena capacidad de humectación de la solución que se extendió sobre la piel de tuna, en general la piel de la manzana valores de mejor difusión en la piel de fruta, debido en gran parte a la presencia de poros en la piel de tuna y a la ausencia de la capa cerosa con que cuentan la mayoría de las frutas encontradas en el mercado.

Tabla 9. Ángulo de contacto (θ) y humectabilidad (mNm⁻¹) de soluciones formadoras de películas en piel de tuna

% CMC	Ángulo de contacto	Humectabilidad
0.5	53.697 ±	57.338 ±
	12.89	7.480
1.0	55.224 ±	58.969 ±
	7.480	7.988
1.5	57.170 ±	61.047 ±
	7.932	8.470
2.0	64.210 ±	68.565 ±
	7.470	7.977

Fuente: Elaboración propia



ANVA PARA ÁNGULO DE CONTACTO

Los resultados de ángulo de contacto de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se muestran en la Tabla 10.

Variable dependiente: PERMEABILIDAD

Factores:

TIEMPO

VARIEDAD

CMC

Tabla 10. Tabla ANVA para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas comestibles de cáscara de tuna

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Signif.
TIEMPO	83977233110	60	1399620552	240343.598	**
A:VARIEDAD	12.00000000	2	6	0.00103032	
B:CMC	843.0000000	3	281	4827.0064	**
A x B	765.000000	6	324	0.4532700	
ERROR EXPERI.	83977187678	180	466539931.5		
ERROR MUEST.	2841826.598	488	5823.41516		
TOTAL (CORR.)	84341277870	733	115063134.9		

Fuente: Elaboración propia



En la Tabla 10 se muestra la variabilidad del ángulo de contacto de la solución formadora de películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna a diferentes porcentajes de CMC. De la cual se infiere que no existe diferencia estadística a nivel de variedades, por otro lado, se encontró diferencia altamente significativa entre los tiempos y entre porcentajes de CMC, dichos factores tienen un efecto altamente significativo sobre el ángulo de contacto con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de *Tukey*.

Tabla 11. Prueba de comparación de Tukey para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas de cáscara de tuna por Tiempos (s) $\alpha = 0.01$

TIEMPO	N	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS
0	36	73.3866667	a
1	36	70.015	b
2	36	67.4466667	c
3	36	65.0316667	d
4	36	63.9966667	d
5	36	63.005	d
6	36	62.3591667	e
7	36	61.3975	f
8	36	60.5033333	g
9	36	59.3725	h
10	36	58.735	i
11	36	58.535	i
12	36	58.425	i
13	36	58.3966667	i
14	36	58.2741667	i
15	36	58.1683333	i
16	36	57.9133333	j
17	36	57.6991667	j
18	36	57.6991667	j
19	36	57.6125	k
20	36	57.6125	k
21	36	57.6125	k
22	36	57.6125	k
23	36	57.6125	k
24	36	57.6125	k



25	36	57.6125	k
26	36	57.4433333	l
27	36	57.3725	l
28	36	57.3725	l
29	36	57.2658333	l
30	36	57.2658333	l
31	36	57.255	m
32	36	57.255	m
33	36	57.255	m
34	36	57.255	m
35	36	57.255	m
36	36	57.255	m
37	36	57.255	m
40	36	57.255	m
41	36	57.255	m
42	36	57.255	m
43	36	57.255	m
44	36	57.255	m
45	36	57.255	m
46	36	57.255	m
47	36	57.255	m
48	36	57.255	m
49	36	57.255	m
50	36	57.255	m
51	36	57.255	m
52	36	57.255	m
53	36	57.255	m
54	36	57.255	m
55	36	57.255	m
56	36	57.255	m
57	36	57.255	m
58	36	57.255	m
59	36	57.255	m
60	36	57.255	m

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 11 muestra que los 10 primeros segundos tienen una diferencia estadística es decir, que difieren entre ellos, el ángulo de contacto en los 10 primeros segundos van variando radicalmente esto debido a la característica no cerosa de las cáscaras lo que la hace más lisa favoreciendo así la dispersión de la gota en la piel de tuna, desde el segundo

10 al 15 presenta un equilibrio momentáneo ($\theta = 58.1683333$) englobado en el grupo “i”, en los siguientes segundos vuelve a cambiar teniendo ligeros momentos de equilibrio, hasta conseguir el equilibrio absoluto a los 31 segundos con un ángulo de contacto de $\theta = 57.255$, representado por el grupo “m” siendo este el momento que se consigue el equilibrio. El concepto del ángulo de contacto y su equilibrio da una definición de la noción de capacidad de humectación, Zisman, W (1964) afirma que en una superficie sólida homogénea, θ es independiente del volumen de la gota de líquido, obviamente, ya que la tendencia para que el líquido se extienda aumenta a medida que disminuye θ , además hay que considerar que el ángulo de contacto es una medida útil de extensibilidad o humectabilidad.

Tabla 12. Prueba de comparación de Tukey para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas de cáscara de tuna por % CMC $\alpha = 0.01$

CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
0.5 %	9	53.697	a
1.0 %	9	55.224	a
1.5 %	9	55.170	a
2.0 %	9	57.255	b

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 se han identificado 2 grupos “a” y “b” encontrándose dentro del grupo “a” los porcentajes 0.5%, 1.0% y 1.5% CMC entonces no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, se infiere que el grupo que presenta mejores características de ángulo de contacto es el “b” dentro del cual está el 2.0% con 57.255° con un nivel del 99.0% de confianza. Entonces el 2.0% de CMC presenta mejores propiedades de



humectación ($61.137 \text{ m N m}^{-1}$) esto se traduce como una gran interacción entre el líquido y la superficie por las fuerzas de dispersión que pueden influir en la propagación efectiva de recubrimiento sobre la superficie.

4.1.2 Propiedad de barrera – permeabilidad al vapor de agua

Los resultados de permeabilidad de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se muestran en la tabla 13, a través del tiempo la permeabilidad al vapor de agua aumenta en las respectivas películas, efecto que se mantiene en las tres variedades de tuna. Los valores obtenidos son mayores que los reportados para films de otros hidrocoloides lo que puede deberse al alto carácter hidrófilico de la película, asociado, en parte, a la presencia de solutos polares de bajo peso molecular e iónicos. Fabra *et al.*, (2008), dan valores de 1,1 y 1,0 $\text{g/Pa s m} \times 10^{-5}$, para films a base de caseinato de sodio, sin ácido oleico y con 0,25% de éste. Por su parte Canaza (2010), reporta valores de $2.74 \times 10^{-5} \text{ g/m.s.Pa}$ y $1.199 \times 10^{-5} \text{ g/m.s.Pa}$ en películas hechas de almidón de plátano a 2 concentraciones de glicerol 4% y 2% respectivamente, dichos valores son próximos a los obtenidos en este proyecto de $2.5002 \text{ g/m.s.Pa} \times 10^{-5}$ (a 1.5% de CMC variedad naranja), $1.9885 \text{ g/m.s.Pa} \times 10^{-5}$ (1.5% de CMC variedad blanca) y de $1.6738 \text{ g/m.s.Pa} \times 10^{-5}$ (1.5% de CMC variedad roja) entonces se puede afirmar que las películas comestibles tienen una buena resistencia al flujo de vapor de agua impulsado por un gradiente de presión o concentración (Kester *et al.*, 1994). Entonces existe una buena difusión activa la cual ocurre en ausencia de fracturas, poros u otras imperfecciones de la superficie del recubrimiento o película, e involucra en parte, a la solubilización del penetrante en la matriz de la película (del lado de mayor concentración o presión), la difusión de toda la película es impulsada por el gradiente de concentración o presión y finalmente, su



liberación o evaporación en el lado opuesto de la película, que para el caso de dichas películas comestibles de cáscara de tuna presenta un bajo gradiente.

Tabla 13. Valores medios de Permeabilidad al vapor de agua (g/Pa s m x 10⁻⁵) de las películas de cáscara de tuna con diferentes % de CMC

T	TUNA BLANCA					TUNA NARANJA					TUNA ROJA													
	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%									
1h	2.0050 ±	2.3935 ±	1.1433 ±	1.2485 ±	2.273 ±	2.6151 ±	1.3468 ±	1.5352 ±	2.8228 ±	2.6618 ±	1.1102 ±	1.8726 ±	4.3301	1.000	1.000	5.7735	1.000	1.000	1.000	1.000				
2h	2.0075 ±	2.4008 ±	1.1460 ±	1.2524 ±	2.2770 ±	2.6170 ±	1.3540 ±	1.5197 ±	2.8267 ±	2.6668 ±	1.1155 ±	1.886 ±	4.6188	4.0173	1.6020	2.1379	1.000	1.2119	4.0131	8.5082	2.1379	2.7400	2.9043	7.6138
3h	2.0102 ±	2.4089 ±	1.1518 ±	1.2557 ±	2.2797 ±	2.6205 ±	1.3627 ±	1.5233 ±	2.8313 ±	2.6716 ±	1.1207 ±	1.8812 ±	1.000	6.6713	3.7852	3.1225	1.6096	2.4253	6.9277	7.0418	3.6857	4.2301	4.5475	5.53435
4h	2.0120 ±	2.4172 ±	1.1546 ±	1.2592 ±	2.2816 ±	2.6233 ±	1.3693 ±	1.5278 ±	2.8354 ±	2.6752 ±	1.1247 ±	1.8844 ±	9.8994	9.2486	4.7009	4.1370	2.0645	3.3289	8.9318	6.0557	4.9542	5.2647	5.6991	5.8117
5h	2.0145 ±	2.424 ±	1.1588 ±	1.2620 ±	2.2844 ±	2.6264 ±	1.3781 ±	1.5308 ±	2.8405 ±	2.6796 ±	1.1288 ±	1.8887 ±												



1.8565	1.1337	5.8355	4.9698	2.8543	4.2614	1.1429	5.6544	6.4622	6.4514	6.7995	6.7011
6h	2.0167 ±	1.1638 ±	1.2658 ±	2.2870 ±	2.6280 ±	1.2877 ±	1.5338 ±	2.8460 ±	2.6848 ±	1.1342 ±	1.8922 ±
	2.5709	1.000	1.000	3.6609	1.000	1.000	1.000	1.000	8.0892	8.4717	9.2799
7h	2.0179 ±	1.1816 ±	1.3077 ±	2.2903 ±	2.6318 ±	1.3902 ±	1.5397 ±	2.9220 ±	2.7507 ±	1.1540 ±	1.9002 ±
	2.9502	1.1410	9.7498	2.2949	1.5275	5.6141	3.2328	4.1636	3.4212	1.5831	4.8619
8h	2.0221 ±	1.2465 ±	1.3591 ±	2.2944 ±	2.6399 ±	1.3930 ±	1.5412 ±	2.9998 ±	2.8483 ±	1.2092 ±	1.9980 ±
	1.000	7.8817	3.7696	4.0469	2.2304	5.2720	3.3889	6.6602	7.4449	3.8189	4.8619
2d	2.1239 ±	1.3188 ±	1.3957 ±	2.3344 ±	2.7322 ±	1.6202 ±	1.6742 ±	3.0270 ±	3.0383 ±	1.2608 ±	2.0147 ±
	5.5758	1.0494	6.3663	5.1606	2.1090	4.4989	6.1561	7.3862	1.5304	5.9433	5.5501
3d	2.2858 ±	1.5208 ±	1.5418 ±	2.5613 ±	2.8928 ±	1.7688 ±	1.8477 ±	3.0741 ±	3.1416 ±	1.4207 ±	2.1703 ±
	1.1517	1.3207	1.3384	9.8146	1.1670	1.0509	1.8222	8.3560	1.9579	1.2552	1.1982
4d	2.5368 ±	1.6138 ±	1.6592 ±	2.6373 ±	2.9972 ±	1.8625 ±	1.9153 ±	3.0935 ±	3.2666 ±	1.5243 ±	2.3204 ±
	2.0300	1.000	1.000	5.7735	1.5145	1.000	1.000	1.000	2.4753	1.6840	1.8190
5d	2.6602 ±	1.8286 ±	1.7084 ±	2.2870 ±	3.2403 ±	1.9715 ±	2.1260 ±	3.1148 ±	3.3102 ±	1.6053 ±	2.6667 ±



2.4968	4.212	1.1765	2.6966	1.000	1.3315	5.9701	1.1540	1.1666	2.6558	2.0191	2.6559
6d	2.7015 ±	1.8858 ±	1.7564 ±	2.8291 ±	3.2882 ±	1.9887 ±	2.2029 ±	3.1327 ±	0.000	1.6738 ±	2.6348 ±
	2.3033	1.2419	4.2104	2.9692	1.3512	5.9269	1.2893	1.6995		2.3025	3.1206
7d	0.000	1.9885 ±	1.8271 ±	0.000	0.000	1.9887 ±	2.5002 ±	0.000	0.000	1.6738 ±	2.6348 ±
		1.4299	6.4740			5.9269	2.1901			2.3025	3.1206
8d	0.000	1.9885 ±	1.8271 ±	0.000	0.000	1.9887 ±	2.5002 ±	0.000	0.000	1.6738 ±	0.000
		1.4299	6.8273			5.9269	2.1901			2.3025	
9d	0.000	1.9885 ±	0.000	0.000	0.000	1.9887 ±	2.5002 ±	0.000	0.000	1.6738 ±	0.000
		1.4299				5.9269	2.1901			2.3025	
10d	0.000	1.9885 ±	0.000	0.000	0.000	1.9887 ±	0.000	0.000	0.000	1.6738 ±	0.000
		1.4299				5.9269				2.3025	

Fuente: Elaboración propia

Los datos registrados con 0.000 son de aquellas películas que no soportaron las condiciones de prueba y terminaron deshaciéndose.



4.1.2.1 ANVA para permeabilidad al vapor de agua

Los resultados de permeabilidad de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se muestran en la Tabla 14.

Variable dependiente: PERMEABILIDAD

Factores:

TIEMPO

VARIEDAD

CMC

Tabla 14. Tabla ANVA para Permeabilidad al vapor de agua (g/msPa) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Signif.
TIEMPO	7.04674E-09	16	4.40E-10	1.89E-03	
A: VARIEDAD	2.58E-09	2	1.29E-09	5.54E-03	
B: CMC	1.583E-05	3	5.28E-06	2.27E+01	**
A x B	3.972E-05	6	3.552E-06	1.652E-03	
ERROR EXPERI.	1.58216E-05	51	3.10E-07		
ERROR MUEST.	3.16408E-05	136	2.33E-07		
TOTAL (CORR.)	1.78044E-08	208			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 presenta el análisis de varianza (ANVA) para la permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna a diferentes

porcentajes de CMC hallando que no existe diferencia estadística a nivel de variedades ni a nivel de tiempos, pero si con respecto a los a los tratamientos de CMC% en estudio, los cuales son diferentes en forma altamente significativa con un 95.0% de nivel de confianza. Para interpretar mejor se realizó la prueba de comparación de *Tukey* para conocer cuál es la diferencia entre los diferentes porcentajes de CMC.

Tabla 15. Prueba de comparación de Tukey para Permeabilidad al vapor de agua (g/msPa) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$

CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
1.5 %	9	1.5057E-05	A
2.0 %	9	1.5842E-05	a
0.5 %	9	1.9157E-05	b
1.0 %	9	2.0410E-05	c

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 15 muestra un procedimiento de comparación múltiple *Tukey* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se han identificado 3 grupos “a”, “b” y “c” de los cuales destacan los pertenecientes al grupo “a”, este grupo es el mejor porque son menos permeables al vapor de agua más específicamente el 1.5% de CMC con 1.5 E-05 por presentar el valor más bajo de permeabilidad, dejando a los grupos “b” y “c” como los más altos lo cual no es conveniente debido a que supone una alta absorción de vapor de agua lo que condujo a su deterioro (tabla 13), asociado, en parte, a la presencia de solutos polares de bajo peso molecular e iónicos. Fabra *et al.*, (2008), esto con un nivel del 99.0% de confianza.

En el proceso de la permeabilidad de una película están involucrados fenómenos de adsorción de agua en la capa en contacto con la mayor HR, de difusión a través del grosor del film y de desorción en la capa en contacto con la menor HR (Trejo *et al.*, 2001). Todo esto conlleva la ganancia de humedad de la película y el establecimiento de un gradiente de concentración de agua en el mismo. Por otro lado Canaza, 2010 afirma que la presencia del glicerol como plastificante en películas representa un gradual incremento en la permeabilidad de agua.

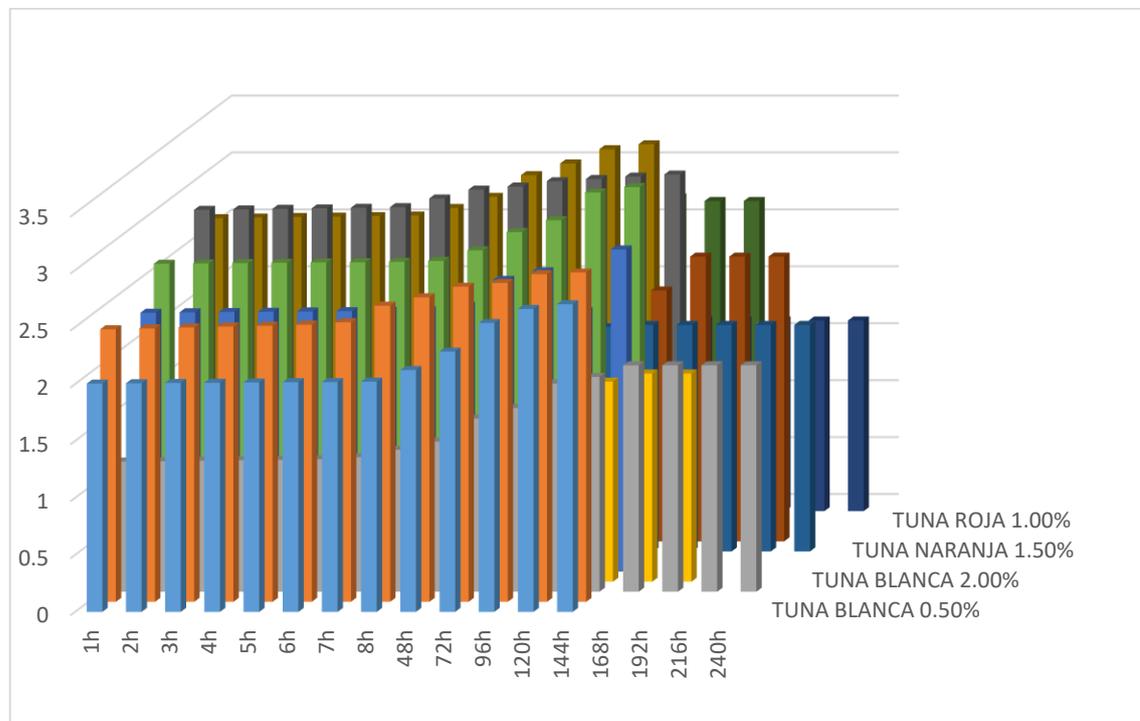


Figura 10. Permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna con diferentes % CMC

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado en el experimento se observó que las películas con 0.5%, 1.0% y 2.0% de CMC no soportaron las condiciones de prueba realizadas para permeabilidad al vapor de agua, esto debido al grosor de las películas, Bosquez (2003), afirma que el grosor de las películas comestibles están relacionadas con la permeabilidad, indicando que la



permeabilidad de las películas elaboradas a partir de goma de mezquite, aumento con el grosor, Tabla 7, entonces para películas muy delgadas, con 0.5% y 1.0% CMC, tienen a deshacerse y películas muy gruesas absorben mucho vapor de agua debido a su capacidad hidrofílica (2.0% CMC), eso deja a la película con 1.5% de CMC como la más óptima con una permeabilidad de $1.6738 \text{ g/Pa s m} \times 10^{-5}$ como se muestra en la Figura 10.

4.1.3 Propiedades mecánicas de las películas comestibles

Los resultados de las propiedades mecánicas de películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se presentan en la Tabla 16

Tabla 16. Valores medios del grosor, propiedades mecánicas y desviación estándar de las películas de cascara de 3 variedades de tuna con diferentes porcentajes de CMC

% CMC	Espesor (mm)	TUNA BLANCA			TUNA NARANJA			TUNA ROJA		
		TF (MPa)	% ϵ_H	E(MPa)	TF (MPa)	% ϵ_H	E(MPa)	TF (MPa)	% ϵ_H	E(MPa)
0.5	0.0473 ±	2.74796 ±	12.556 ±	0.1176 ±	2.0858 ±	11.227 ±	0.5137 ±	25.1561 ±	18.915 ±	0.2274 ±
	0.008827	1.009	1.4050	0.0066	0.4515	0.1591	0.1557	3.3240	0.8526	0.0157
1.0	0.0767 ±	1.4951 ±	11.962 ±	0.6884 ±	4.3412 ±	13.052 ±	0.6504 ±	27.7723 ±	19.689 ±	0.5927 ±
	0.008997	0.5836	1.4105	0.3154	2.1897	0.189	0.1386	4.2316	1.3972	0.2219
1.5	0.1765 ±	34.8467 ±	17.751 ±	2.4238 ±	40.8154 ±	14.981 ±	2.4548 ±	52.5900 ±	23.788 ±	2.6930 ±
	0.005927	12.0602	3.0044	1.0564	0.9545	1.6678	0.9456	5.1905	2.5403	1.1549
2.0	0.1771 ±	64.993 ±	16.174 ±	2.7404 ±	96.5511 ±	19.828 ±	2.9277 ±	73.5964 ±	18.996 ±	2.8431 ±
	0.007453	12.399	2.7304	1.1809	13.6568	3.3683	1.1211	0.9576	2.3145	1.2429

Fuente: Elaboración propia

Grupos homogéneos letras iguales en la columna con un nivel de confianza de $\alpha < 0.05$



Las propiedades mecánicas de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna dependen, entre otros factores de su composición y estructura (Maftoonazad *et al.*, 2007^a). Los resultados obtenidos en la caracterización mecánica (Esfuerzo de Fractura: T, módulo de elasticidad: E y de deformación de Hencky: % ϵ H) de las diferentes películas comestibles de mucílago de 3 variedades de tuna con sustitución de 4 niveles de CMC, se muestran en la Tabla 16, junto con el grosor obtenido para cada película. Como se puede apreciar, la adición de CMC en diferentes porcentajes a la composición de las películas, afecta a las propiedades mecánicas de las películas. Las películas elaboradas con porcentajes de 0.5 % y de 1.0 % de CMC presentan valores entre 1.4951 MPa y 4.3412 MPa este rango de valores, es del mismo orden del reportado por McHugh y Olsen (2004) para películas elaboradas con pectina de durazno (1,8 MPa). Mientras que para películas de β -glucano, Skendi *et al.* (2003) reportan valores de T de 70-80 MPa, los cuales pueden ser comparados con los valores de 34.8467 MPa a 96.5511 MPa correspondientes a los porcentajes de 1.5 % y 2.0 % de CMC, con respecto al módulo de elasticidad E, de 2500-6000 MPa y porcentajes de deformación en la fractura de 3-5%, lo cuales pueden ser comparados con valores de 11.227 % a 23.788% que están por encima del promedio reportado por Skendi *et al.* (2003), esto debido a la incorporación de aceite esencial de canela. Algunos valores de las propiedades mecánicas para films elaborados a base de pectina: T de 2 a 7,5 MP, E de 127 a 323 MPa y % ϵ H de 4 a 14% (Maftoonazad, *et al.*, 2007^a), y es de acuerdo a este autor que podemos comparar valores similares de % ϵ H. Los valores de esfuerzo de fractura son similares a los reportados por la bibliografía, siendo las tunas con sustitución de 1.5 % y 2.0 % de CMC las que presentan mejores atributos de T la cual es una medida de la integridad y del uso potencial del film en condiciones de manipulación drásticas (Gennadios y Weller, 1993), pero ocurre lo contrario con la elongación.



4.1.3.1 ANVA para esfuerzo de fractura (t)

Variable dependiente: ESFUERZO DE FRACTURA

Factores:

VARIEDAD

CMC

Tabla 17. Tabla ANVA para Esfuerzo de Fractura (T) de las películas comestibles de cáscara de tuna $\alpha = 0.05$

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Nivel Signif.
A:VARIEDAD	2394.5	2	1197.25	26.13	**
B:CMC	26404.3	3	8801.42	192.10	**
A x B	4772.13	6	795.354	17.36	
RESIDUOS	1099.58	24	45.8159		
TOTAL (CORR.)	34670.5	35			

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17 se muestra la variabilidad del esfuerzo de fractura de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna a diferentes porcentajes de CMC, se encontró diferencia significativa a nivel de variedades y a nivel de % de CMC, dichos factores tienen un efecto altamente significativo sobre el esfuerzo de fractura con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de *Tukey* para conocer cuál es la diferencia entre dichos factores.

Tabla 18. Prueba de comparación de Tukey para Esfuerzo de Fractura (T) por Variedad de tuna de las películas comestibles $\alpha = 0.01$

VARIEDAD	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
BLANCA	12	26.0208	a
NARANJA	12	29.4484	a
ROJA	12	44.7787	b

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 muestra la de comparación *Tukey* entre variedades encontrando 2 grupos “a” y “b” siendo el grupo “b” variedad roja de tuna, la que destaca de las demás con un nivel del 99.0% de confianza.

Tabla 19. Prueba de comparación de Tukey para esfuerzo de fractura por % CMC de las películas comestibles. $\alpha = 0.01$

% CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
0.5	9	9.99663	a
1.0	9	14.5362	a
1.5	9	30.7507	a
2.0	9	78.3803	b

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 se muestra la prueba de comparación de *Tukey* que muestra la diferencia de las formulaciones de las películas comestibles de cáscara de tuna a 4 diferentes porcentajes de CMC, encontrándose 2 grupos , grupo “a” y grupo “b”, siendo el grupo

“a” el que engloba los porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% los que estadísticamente son iguales, mostrando valores de 9.99663 MPa, 14.5362 MPa y 30.7507MPa los que obedecen a esfuerzos de fractura muy bajos, por otro lado la formulación con 2.0 % de CMC presentó mejores resultados (grupo “b”) con un $T = 78.3803$ MPa siendo el grupo “b” el que mostró diferencia estadísticamente significativa con un nivel del 99.0% de confianza.

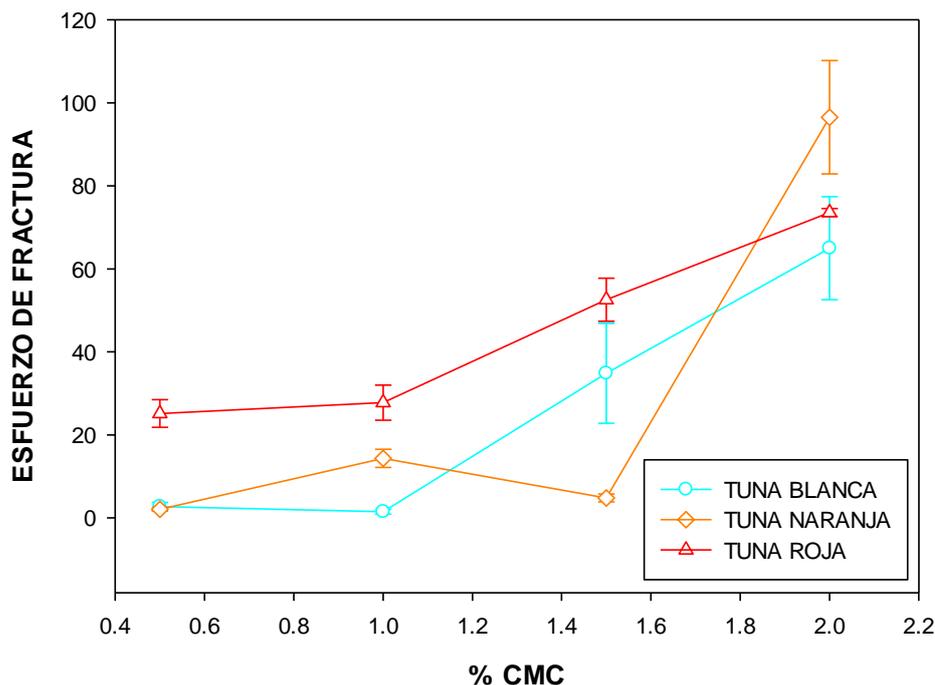


Figura 11. Efecto del % de CMC en el esfuerzo de fractura de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna

Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 muestra la interacción de las variedades de tuna y del CMC en el esfuerzo de fractura, de la cual se puede observar que a medida que el porcentaje incrementa también lo hacen los valores para Esfuerzo de fractura, para los porcentajes de 1.5% (para el caso de la variedad blanca y roja) y 2.0% (para todas las variedades) las películas presentan valores muy similares de esfuerzo de fractura, sin embargo los valores de T para las películas con 0.5% CMC y 1.0% de CMC, en la variedad de tuna naranja se registra también con 1.5%, tienen bajos valores de esfuerzo de fractura 2.74796 MPa esto



da lugar a películas menos resistentes a la tensión de fractura lo cual expresa que son películas frágiles y quebradizas, entonces puede observarse que la proporción de CMC juega un papel importante en esta característica de las películas, una buena interacción del CMC con las moléculas de la matriz, que modifican el grado de agregación de las cadenas y la resistencia de la red polimérica supone uniformidad en la matriz (Abraján, M. 2008), para el caso de las películas con 0.5% y 1.0% supone discontinuidades de la matriz que la hace menos resistente a las deformaciones y obtenemos películas quebradizas

4.1.3.2 ANVA para % de deformación de Hencky ($\% \epsilon_h$)

Variable dependiente: % de deformación de Hencky

Factores:

VARIEDAD

CMC

Tabla 20. Tabla ANVA para % de deformación de Hencky ($\% \epsilon_H$) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

F. de V.	S. C.	GL	C. M.	Fc	Nivel Signif.
A:VARIEDAD	256.094	2	128.047	131.97	* *
B:CMC	148.552	3	49.5172	51.04	* *
A x B	93.894	6	15.649	16.13	
RESIDUOS	23.2858	24	3.90599		
TOTAL (CORR.)	521.826	35			

Fuente: Elaboración propia



La Tabla 20 muestra la variabilidad del % Deformación de Hencky de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna a diferentes porcentajes de CMC, encontrándose diferencia significativa entre las variedades y los % de CMC con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de *Tukey*.

Tabla 21. Prueba de comparación de Tukey para % de deformación de Hencky (% ϵ_H) por Variedad de tuna de las películas comestibles $\alpha = 0.01$

VARIEDAD	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
BLANCA	12	14.6109	a
NARANJA	12	14.7719	a
ROJA	12	20.3476	b

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21 muestra la comparación *Tukey* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, encontrándose que existen 2 grupos “a” y “b” encontrándose que el grupo “b” variedad roja resalta con respecto al otro grupo presentando % $\epsilon_H = 20.3476$ % con un nivel del 99.0% de confianza.



Tabla 22. .Prueba de comparación de Tukey para % de deformación de Hencky (%EH) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$

CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
0.5 %	9	14.2331	a
1.0 %	9	14.9014	a
2.0 %	9	18.3328	b
1.5 %	9	18.8401	b

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22 se aplicó un procedimiento de comparación múltiple *Tukey* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se han identificado 2 grupos: “a” (0.5 % - 1.0 % CMC) que son las más deformables y “b” (1.5 % - 2.0 % CMC) menos deformables, encontrándose que los porcentajes de 1.5 y 2.0 son los que presentan valores aceptables con un nivel del 99.0% de confianza.

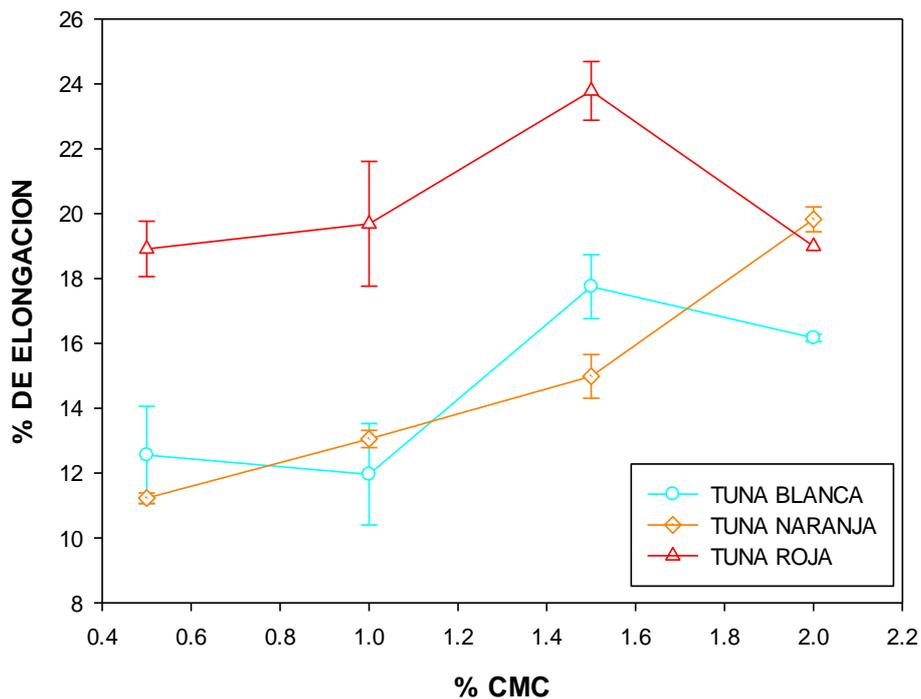


Figura 12. Efecto del % de CMC en el % de deformación de Hencky de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna

Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 muestra la interacción de las variedades de tunas y del % CMC sobre la deformación alcanzada en el punto de fractura, la cual va gradualmente aumentado junto con la incorporación de CMC como consecuencia del incremento del carácter gomoso de la matriz, que las hace más deformables (Abraján, M. 2008). Es de destacar el comportamiento que presenta la variedad de tuna roja claramente se observa que esta por encima de las otras 2 variedades, la cual presenta un aumento en la capacidad de deformación lo cual supone en general una buena flexibilidad esto apunta a la diferente contribución del CMC sobre la continuidad de la matriz para altos porcentajes de CMC la red polimérica es gomosa y la presencia de discontinuidades supone el verdadero límite a la deformación lo cual le imparte una mayor capacidad de deformación sin ruptura (Bósquez, E. 2003).



4.1.3.3 ANVA para módulo de elasticidad (e)

Variable dependiente: MÓDULO DE ELASTICIDAD

Factores:

VARIEDAD

CMC

Tabla 23. Tabla ANVA para Módulo de elasticidad (E) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

Fuente	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Significancia
A:VARIEDAD	0.129342	2	0.0646709	2.39	
B:CMC	45.1897	3	15.0632	556.02	* *
A x B	0.318509	6	0.0530848	1.96	
RESIDUOS	0.650184	24	0.027091		
TOTAL (COR.)	46.2877	35			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 23 muestra la variabilidad del Módulo de elasticidad (E) de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna a diferentes porcentajes de CMC. Se puede inferir que no existe ninguna diferencia significativa a nivel de variedades, por otro lado los porcentajes de CMC, este factor si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el módulo de elasticidad con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de *Tukey* para conocer cuál es la diferencia entre los diferentes porcentajes de CMC.

Tabla 24. Prueba de comparación de Tukey para módulo de elasticidad (E) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$

CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
0.5 %	9	0.286296	a
1.0 %	9	0.543865	a
1.5 %	9	2.52388	b
2.0 %	9	2.83712	c

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 24 se aplicó un procedimiento de comparación múltiple *Tukey* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se han identificado 3 grupos, teniendo un grupo homogéneo 0.5 % - 1.0 % CMC “a” entonces no existen diferencia estos 2 porcentajes, mientras que los únicos grupos que muestran diferencia estadística son los “b” y “c” de los porcentajes 1.5 % ($E=2.52388$) y 2.0 % ($E=2.83712$) de CMC respectivamente, además estos valores se acercan a los reportados por Maftoonazad, *et al.*, 2007, del cual podemos inferir que la película que muestra mejores características de módulo de elasticidad es la que fue elaborada con 2.0% CMC, esto con un nivel del 99.0% de confianza.

El módulo de elasticidad representa la rigidez intrínseca de la película (Chen, 1995), en la figura 13 se muestra la variación del módulo de elasticidad en función del CMC, para todos los casos el valor de E incrementa al aumentar la proporción de CMC lo que contribuye a impartir rigidez a la matriz.

En conclusión las películas comestibles de mucilago de cáscara de tuna, muestran adecuadas propiedades mecánicas cuando se sustituyen con porcentajes de 1.5 y 2.0 de

CMC, cuando estos niveles son por debajo (0.5% y 1.0%) son demasiado frágiles y quebradizas, coherentemente con el estado vítreo de la matriz permitiendo una buena flexibilidad incluso a los valores más bajos de CMC ensayados

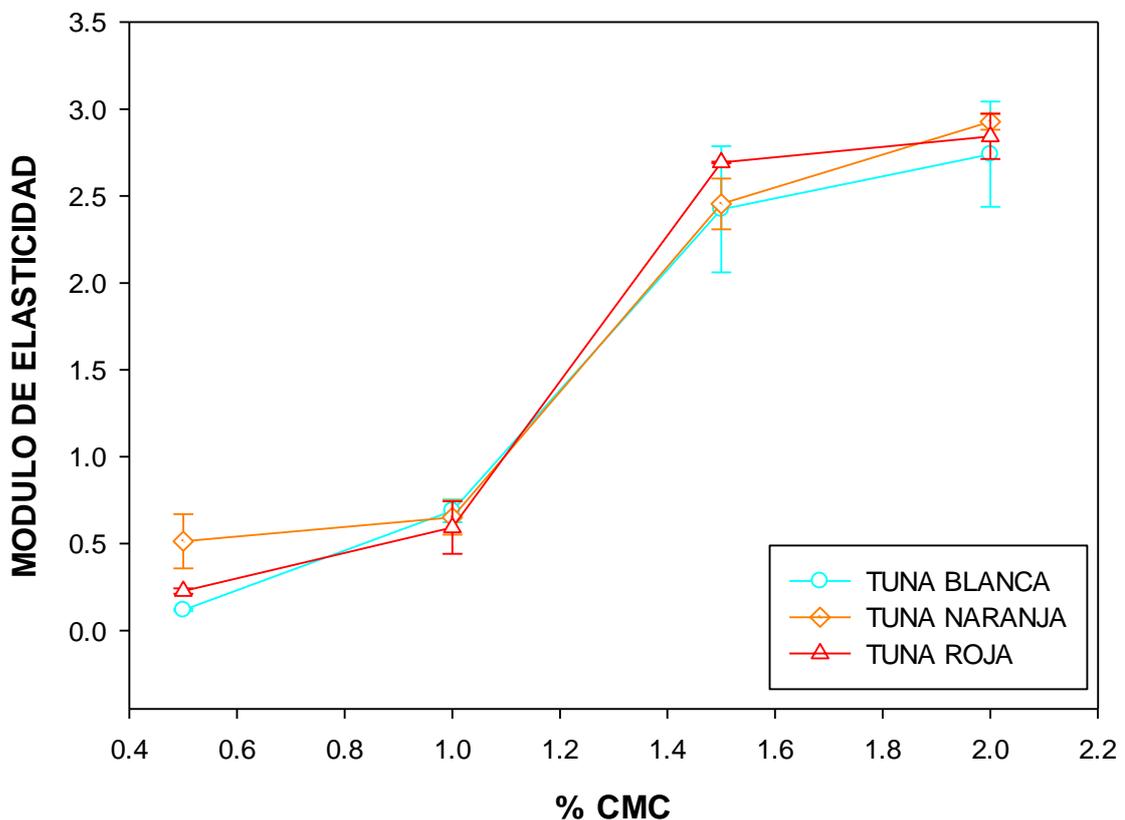


Figura 13. Efecto del % de CMC en el Modulo de elasticidad de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Propiedades químicas, físicas y microbiológicas de las películas comestibles

Se comprueba que las tunas envueltas con la película comestible presentan mayor tiempo de vida útil, con 18 días; respecto a las tunas recubiertas con solución formadora de la película con 12 días, estos datos registrados pueden ser considerados mucho más satisfactorios que los resultados presentados por Ccallo (2009), quien reporta una estabilidad de tunas frescas en refrigeración que duran hasta 7 días, este hecho puede ser

atribuido a que existen diferentes factores implicados desde las condiciones de manejo post cosecha y la manipulación de tuna mínimamente procesada, que pueden influir directamente en su vida útil.

4.1.4.1 Propiedad química: °Brix

Se tiene la siguiente tabla:

Tabla 25. Valores medios de °Brix de las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo

TIEMPO (días)	MÉTODO	
	TUNA RECUBIERTA	TUNA ENVUELTA
0	17.667 ± 2.886	16.367 ± 1.692
6	18.400 ± 2.424	16.667 ± 1.528
12	19.100 ± 1.905	17.067 ± 1.628
18	23.033 ± 1.154	22.600 ± 3.934

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 25 podemos observar el aumento de los grados Brix de las tunas envueltas y recubiertas con película comestible, esto debido a que el cociente total de sacarosa disuelta en las tunas se va concentrando más a medida que pasan los días, dicho cociente es menor en las tunas recubiertas, lo cual evidencia que el método de envoltura, es decir usando películas secas, es superior frente al método de recubrimiento, ya que este último presenta 23.033 g de azúcar (sacarosa) por cada 100 g de líquido (jugo de tuna) en comparación a los 22.600 g de las tunas envueltas, si hay una alta concentración de azúcar

esto favorecerá a la proliferación exponencial de microorganismos que puedan alterar a la fruta, tales como mohos y levaduras.

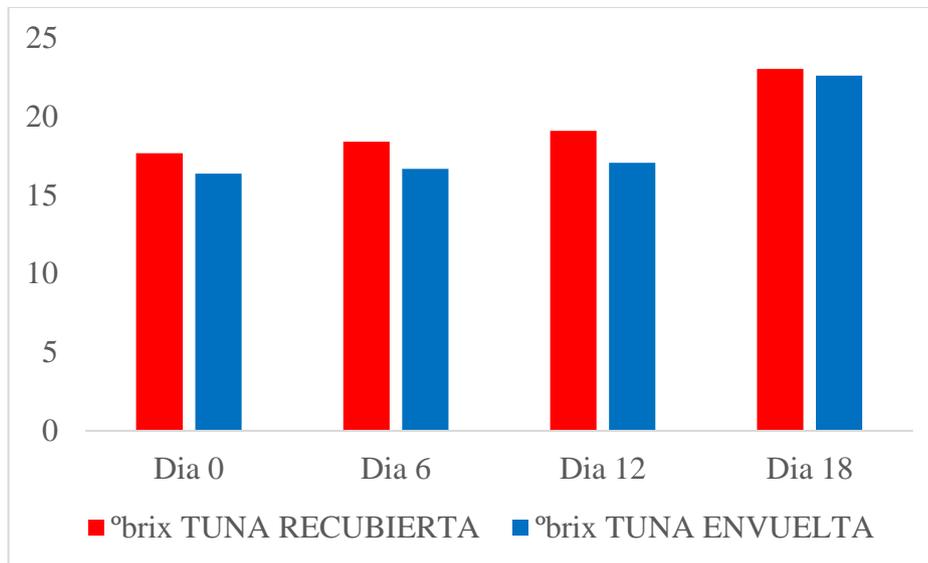


Figura 14. Evolución del ° Brix durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles

Fuente: Elaboración propia

La Figura 14 describe la evolución de los °Brix a lo largo del tiempo de almacenamiento, observándose que para ambos casos, tunas recubiertas y envueltas, el incremento de los grados brix al día 18 es similar, ya que la película que cubría a la tuna envuelta se fue desintegrando pasados los 12 días, esto debido a la presencia de humedad que se tiene en un ambiente a 4°C de almacenamiento.

4.1.4.1.1 ANVA para °Brix de tunas envueltas y recubiertas

Variable dependiente: °Brix

Factores:

TIEMPO

METODO DE ALMACENAMIENTO (RECUBIERTA Y ENVUELTA)

Tabla 26. Tabla ANVA para °Brix de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

Fuente	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Significancia
A:TIEMPO	20.3567	3	6.78556	84.38	*
B:METODO	171.735	1	171.735	2135.56	**
AxB	9.54167	3	3.18056	39.55	*
RESIDUOS	1.28667	16	0.0804167		
TOTAL (COR.)	202.92	23			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 26 muestra la variabilidad de los °Brix de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. Encontrándose diferencia significativa a nivel de tiempo de almacenamiento y altamente significativa a nivel de métodos: tunas envueltas y recubiertas, por ende existe una interacción estadísticamente significativa entre estos 2 factores para lo cual se realizó una prueba de comparación de Duncan para conocer cuál es la diferencia entre ellos.

Tabla 27. Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento de las tunas mínimamente procesadas $\alpha = 0.01$

Orden de merito	Muestra (M)	Tiempo (Días)	Promedio	Significancia
1	TR	0	14.5000000	a
2	TR	6	15.0000000	b
3	TR	12	15.2000000	b
4	TR	18	18.4000000	c
5	TE	0	20.5666667	d
6	TE	6	21.1333333	e
7	TE	12	21.2333333	e
8	TE	18	21.5666667	e

TE: Tuna Envuelta

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27 se aplicó el procedimiento de comparación *Duncan* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, encontrándose 5 grupos diferentes, en los que se observa la interacción método de almacenamiento – tiempo con mayor estabilidad, para el caso de las tunas recubiertas existe mucha variabilidad a través del tiempo, grupos “a”, “b” y “c”, ya que al recubrir la tuna con solución formadora de película dejamos en segundo plano el espesor de la película que se forma al dejar secarla esto hace suponer que el grosor de las películas que cubrían a las tunas envueltas era muy bajo y con el tiempo se deshizo por la presencia de humedad que existe al almacenar en

refrigeración, sucede todo lo contrario en las tunas envueltas con películas comestibles por presentar una mayor relevancia de análisis en los días 6, 12 y 18.

4.1.4.2 PROPIEDAD QUIMICA: pH

Tabla 28. Valores medios del pH de las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo

TIEMPO (días)	MÉTODO	
	TUNA RECUBIERTA	TUNA ENVUELTA
0	6.467 ± 0.208	6.033 ± 0.115
6	6.30 ± 0.20	6.033 ± 0.0577
12	6.067 ± 0.058	6.000 ± 0.000
18	5.867 ± 0.115	5.9667 ± 0.115

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 28 muestra los valores medios del pH medido en tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles, de la cual se puede inferir que la variación del pH a lo largo del periodo de almacenamiento a 4°C es mínima, considerando que el grado de acidez o alcalinidad se mide a través de una escala de pH, que va de 0 (extremo ácido) a 14 (extremo alcalino), ubicándose en 7 el valor neutro, entonces podemos afirmar que el pH de las tunas sometidas al experimento fue disminuyendo lo que supone un aumento en la acidez de dichos frutos durante el tiempo de almacenamiento, ahora bien si es cierto que la acidez va incrementándose para ambos, es de destacar el lento descenso de pH que muestran las tunas envueltas, lo que lleva a afirmar que el uso de películas comestibles

de mucilago de cáscara de tuna beneficia a mantener el pH de la fruta envuelta, observándose un efecto contrario en las tunas recubiertas.

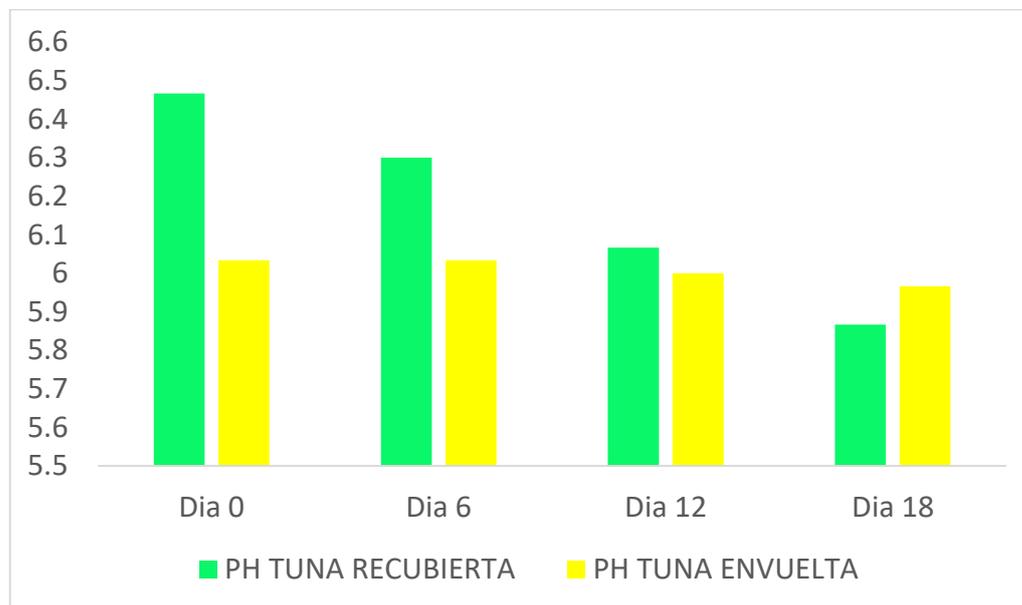


Figura 15. Evolución del pH durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 15 muestra la evolución del pH de tunas recubiertas y envueltas, en el cual se observa la acelerada disminución del pH en tunas recubiertas esto debido a que estas se encontraron más expuestas a las condiciones a almacenamiento al contar con una capa delgada de película comestibles lo cual acelero la disminución del pH, ocurriendo todo lo contrario en las tunas envueltas.

4.1.4.2 ANVA para pH

Variable dependiente: pH

Factores:

TIEMPO

METODO DE ALMACENAMIENTO (RECUBIERTA Y ENVUELTA)

Tabla 29. Tabla ANVA para pH de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

Fuente	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Significancia
A:TIEMPO	0.16125	3	0.05375	0.0000	*
B:METODO	0.09375	1	0.09375	0.0000	**
A x B	0.55125	3	0.18375	0.0000	*
RESIDUOS	0.0000	16	0		
TOTAL (COR.)	0.80625	23			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 29 muestra el análisis de varianza del pH de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. Encontrándose diferencia altamente significativa en los tiempos, esto debido a que al pasar los días de almacenamiento los valores de pH van disminuyendo, y también existe diferencia altamente significativa a nivel de métodos de almacenamiento: tunas envueltas y recubiertas, por ende la interacción entre ambas resulta tener significancia estadística con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de Duncan.

Tabla 30. Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto al pH de las tunas mínimamente procesadas $\alpha = 0.01$

Orden de merito	Muestra (M)	Tiempo (Días)	Promedio	Significancia
1	TE	18	5.80000	a
2	TE	0	5.90000	b
3	TE	6	6.00000	c
4	TR	12	6.10000	d
5	TE	12	6.10000	d
6	TE	18	6.10000	d
7	TR	6	6.30000	e
8	TE	0	6.40000	e

TE: Tuna Envuelta

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30 se aplicó el procedimiento de comparación *Duncan* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, encontrándose 5 grupos, y solo 2 grupos homogéneos, “d” y “e” los cuales representan la interacción tratamiento – tiempo que corresponden a las tunas envueltas por presentar una mayor relevancia de análisis.

4.1.4.3 PROPIEDAD QUIMICA: % ACIDEZ

En los alimentos el porcentaje de acidez indica el contenido en ácidos libres, el cual es usado como un parámetro de calidad en tunas mediante la determinación del porcentaje del ácido presente en estas, ácido cítrico, si en la tuna aumenta la acidez al pasar el tiempo es un indicador de deterioro (Repo de Carasco, 2008). La tabla 31 muestra los valores medios del porcentaje de acidez titulable de las tunas envueltas y recubiertas, de la cual se puede interpretar que el incremento de la acidez en las tunas recubiertas es acelerado

en relación a las tunas envueltas, dichos resultados evidencian una posible diferencia la cual será descartada mediante el análisis de varianza ANVA.

Tabla 31. Valores medios del % Acidez de las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo

TIEMPO (días)	MÉTODO	
	TUNA RECUBIERTA	TUNA ENVUELTA
0	0.128 ± 0.000	0.0853 ± 0.0369
6	0.181 ± 0.018	0.138 ± 0.0184
12	0.234 ± 0.018	0.192 ± 3.399
18	0.267 ± 0.018	0.224 ± 0.000

Fuente: Elaboración propia

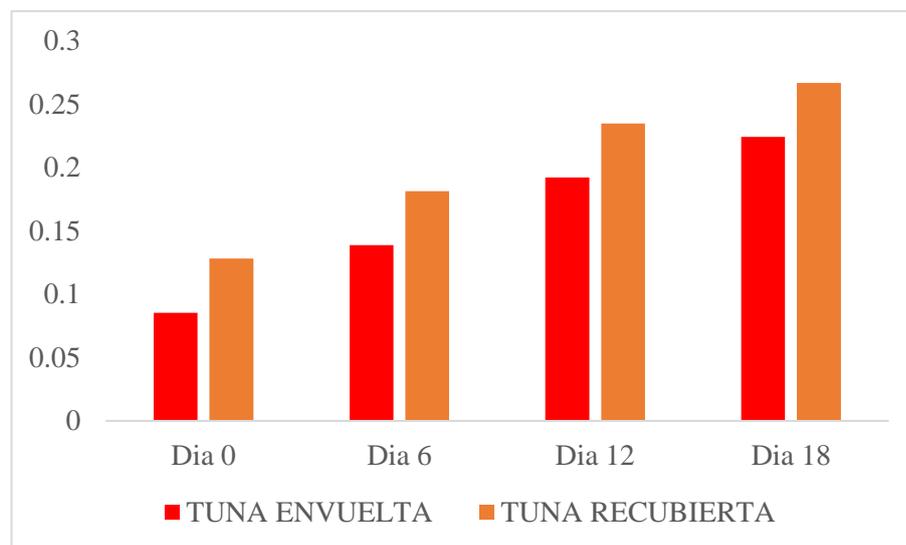


Figura 16. Evolución del % de Acidez durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 se observa la evolución del porcentaje de acidez de las tunas que fueron evaluadas a 4°C, de la cual se puede inferir que las tunas envueltas tienen un aumento



lento de acidez debido a la presencia de la película que las rodea, en cambio las películas recubiertas con solución formadora de película.

4.1.4.3.1 ANVA del % Acidez

Variable dependiente: % Acidez

Factores:

TIEMPO

METODO DE ALMACENAMIENTO (RECUBIERTA Y ENVUELTA)

La Tabla 32 muestra la variabilidad del % de Acidez de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna en la cual se observa que existe diferencia significativa a nivel de tiempo y diferencia altamente significativa a nivel de método de almacenamiento con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de Duncan para conocer cuál es la diferencia entre ellos.

Tabla 32. Tabla ANVA para % Acidez de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

Fuente	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Significancia
A:TIEMPO	0.0662187	3	0.0220729	64.67	*
B:METODO	0.0109227	1	0.0109227	32.00	**
A x B	0.0682667	3	0.0227556	22.67	*
	0.0054613		0.00034133		
RESIDUOS	3	16	3		
TOTAL (COR.)	0.0832853	23			

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 33 se aplicó el procedimiento de comparación *Duncan* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en el cual se presentan 6 grupos, observándose que existen solo 2 grupos homogéneos, “b” y “e” los cuales pertenecen a las tunas envueltas, es por ello que están se consideran como el mejor método de almacenamiento.

Tabla 33. Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto a la Acidez de las tunas mínimamente procesadas $\alpha=0.01$

Orden de merito	Muestra (M)	Tiempo (Días)	Promedio	Significancia
1	TR	0	0.08533333	a
2	TE	0	0.12800000	b
3	TE	6	0.13866667	b
4	TR	6	0.18133333	c
5	TR	12	0.19200000	d
6	TE	18	0.22400000	e
7	TE	12	0.23466667	e
8	TR	18	0.26666667	f

TE: Tuna Envuelta

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.4 Propiedad física: pérdida de peso

Tabla 34. Valores medios de los pesos (g) las de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo

TIEMPO (días)	MÉTODO	
	TUNA ENVUELTA	TUNA RECUBIERTA
0	59.408 ± 1.262	64.381 ± 1.213
6	55.178 ± 1.125	53.108 ± 7.081
12	48.985 ± 3.367	44.489 ± 6.137
18	43.250 ± 2.717	35.665 ± 5.498

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 34 muestra los valores medios de los pesos obtenidos en el experimento, observándose un claro descenso para ambos casos, por se realizó un análisis de varianza para conocer la diferencia significativa para ambas variables.

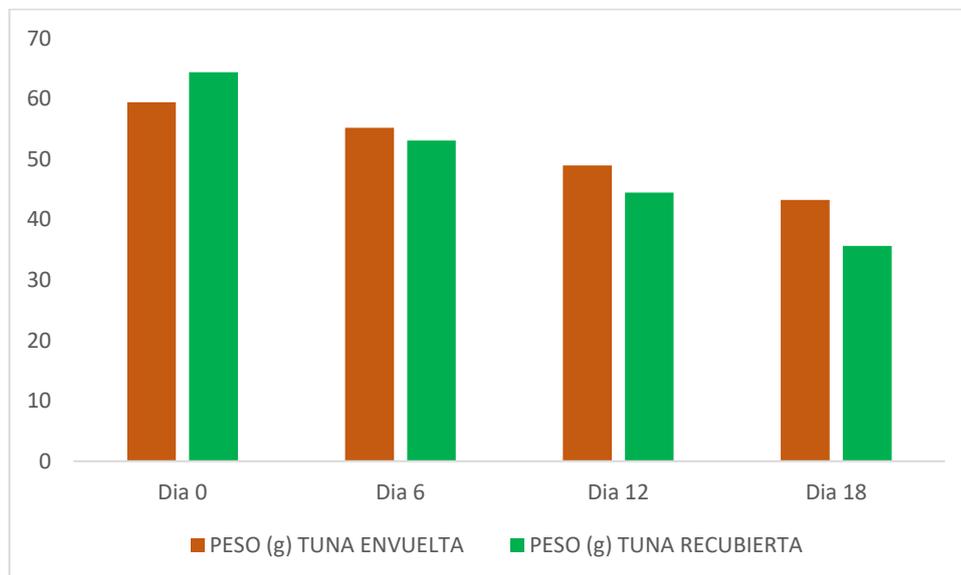


Figura 17. Pérdida de peso (g) durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.

Fuente: Elaboración propia



La Figura 17 representa la evolución de la pérdida de peso de las tunas durante el tiempo de almacenamiento a 4°C, como se observa todas las muestras recubiertas presentaron mayor pérdida de peso que el que tuvieron las muestras envueltas, resultados similares fuer obtenidos por Abraján (2008) en el cubos de jícama recubiertos con películas de mucílago, este comportamiento podría justificarse a que las tunas recubiertas no poseen una capa uniforme debido a que se usó solución formadora de película sobre ellas siendo ésta muy delgada y al ser el mucilago una sustancia higroscópica termino absorbiendo fácilmente el agua de la tuna la cual es liberada al medio ambiente quedando sin cobertura favoreciendo de esta forma la pérdida de peso, mientras que en el caso de las tunas envueltas, las cuales emplearon una cubierta seca, es decir una película comestible de mucílago de cascara de tuna estandarizada, perdió en menor grado el peso lo que hace suponer que alimento envueltos con esta película favorece la reducción de pérdida de peso, incluso al finalizar el periodo de prueba las tunas envueltas mostraron una costra de células superficiales secas que impide la salida del agua

4.1.4.4.1 ANVA de la pérdida de peso

Variable dependiente: pérdida de peso (g)

Factores:

TIEMPO

METODO DE ALMACENAMIENTO (RECUBIERTA Y ENVUELTA)

Tabla 35. Tabla ANVA para pérdida de peso en tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

Fuente	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Significancia
A:TIEMPO	1675.17	3	558.391	3.66	*
B:METODO	31.5907	1	31.5907	1.79	*
A x B	128.541	3	42.8469	2.43	*
RESIDUOS	282.211	16	17.6382		
TOTAL (COR.)	2117.52	23			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 35 muestra el análisis de varianza de la pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento de las tunas envueltas y recubiertas, encontrándose que existe diferencia estadísticamente significativa para los tiempos de almacenamiento y para los métodos, por ende la interacción entre ambos es estadísticamente significativa, para lo cual se realizó una pruna de comparación de Duncan.

Tabla 36. Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto al peso de las tunas mínimamente procesadas $\alpha = 0.01$

Orden de merito	Muestra (M)	Tiempo (Días)	Promedio	Significancia
1	TR	18	35.665	a
2	TE	18	43.250	b
3	TR	12	44.489	b
4	TE	12	48.985	b
5	TR	6	53.108	c
6	TE	6	55.178	c
7	TE	0	59.408	c
8	TR	0	64.381	d

Fuente: Elaboración propia



La Tabla 36 muestra la prueba de comparación de Duncan para la pérdida de peso, en la cual se encuentran 4 grupos en los cuales existe 2 grupos homogéneos “b” y “c” los que engloban tanto a las tunas envueltas como las recubiertas, pero presentado mayor homogenidad en las tunas envueltas al ser predominantes tanto el grupo “b” como del “c”.

4.1.4.5 PROPIEDAD FÍSICA: FIRMEZA

Las tunas envueltas a lo largo del periodo de almacenamiento presentaron mayor resistencia a la penetración del punzón al final del periodo de almacenamiento y para la muestra recubierta se mostraron los menores valores de fuerza de penetración, a medida que evoluciona el tiempo la firmeza entre las muestras aumenta. Entonces afirmamos que el empleo de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna reduce la pérdida de firmeza durante el almacenamiento de las muestras.

Del Valle *et al.* (2005) reportan que al aplicar un recubrimiento de mucílago de fresa, la firmeza del fruto se ve incrementada con la aplicación de recubrimiento de 92 a 153 N, en este trabajo se consiguieron resultados similares al encontrar que la pérdida de firmeza fue menor en tunas envueltas con película comestible como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. Valores medios de Firmeza de tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles a través del tiempo

TIEMPO (días)	MÉTODO	
	TUNA ENVUELTA	TUNA RECUBIERTA
0	4.533 ±	4.567 ±
	1.123	1.069
6	4.00 ±	3.233±
	1.00	0.709
12	3.8 ±	2.567 ±
	0.953	0.737
18	3.233 ±	1.933±
	0.461	0.404

Fuente: Elaboración propia

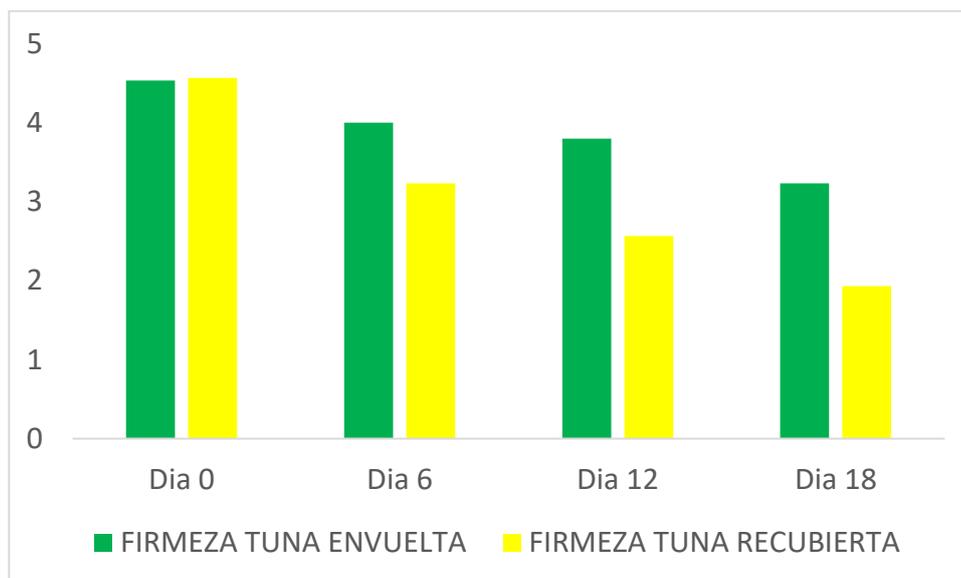


Figura 18. Pérdida de firmeza (N) durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se muestra que en el día cero las muestras cubiertas con las envueltas no presentan diferencia, es decir tienen las mismas condiciones de firmeza, al pasar el tiempo las tunas recubiertas enfrentan una reducción acelerada de firmeza lo que puede estar



relacionado con la alta humedad superficial de la tuna lo que hizo que se desintegrada la delgada capa de película con la que fue recubierta dejando expuesto al fruto de tuna conllevando a la perdida de firmeza, mientras que las tunas envueltas no muestran mayor variación esto debido a que las películas que envuelven a las tunas evitan la pérdida de agua, otros componentes prolongando la firmeza del fruto a lo largo del tiempo.

4.1.4.5.1 ANVA para Firmeza

Variable dependiente: Firmeza

Factores:

TIEMPO

METODO DE ALMACENAMIENTO (RECUBIERTA Y ENVUELTA)

Tabla 38. Tabla ANVA para firmeza de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

Fuente	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Significancia
A:TIEMPO	5.90167	3	1.96722	214.61	*
B:METODO	1.70667	1	1.70667	186.18	**
A x B	1.78333	3	0.594444	64.85	*
RESIDUOS	0.146667	16	0.00916667		
TOTAL (COR.)	9.53833	23			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 38 muestra el análisis de varianza para la firmeza encontrándose que existe significancia estadística entre los tiempos de almacenamiento, mientras que existe diferencia altamente significativa a nivel de métodos de almacenamiento, por ende la interacción entre ambas termina siendo significativa con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo cual se realizó una prueba de comparación de Duncan para conocer cuál es la diferencia entre ellos.

Tabla 39. Prueba de comparación de Duncan para la Interacción tiempo y método de almacenamiento con respecto a la firmeza de las tunas mínimamente procesadas $\alpha=0.01$

Orden de merito	Muestra (M)	Tiempo (Días)	Promedio	Significancia
1	TR	18	1.40000	a
2	TR	12	2.03333	b
3	TE	18	2.66667	c
4	TR	6	2.86667	c
5	TE	12	2.86667	c
6	TE	6	3.00000	d
7	TE	0	3.30000	e
8	TR	0	3.40000	e

TE: Tuna Envuelta

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 39 muestra la comparación de Duncan para la pérdida de firmeza de las tunas envueltas y recubiertas, en la cual se puede observar que se forman 5 grupos, obviamente en el día cero las muestras cubiertas y envueltas no presentan diferencias estadísticamente significativas esto debido a que las condiciones de firmeza eran similares al inicio del ensayo, los valores de firmeza en los días 12 y 18 de las tunas envueltas pertenecen al mismo grupo homogéneo “c” lo que hace afirmar que las tunas envueltas tienen una mínima variación de pérdida de firmeza a lo largo del tiempo de almacenamiento, Abraján

(2008) observó un comportamiento similar en cubos de jícama envueltos con películas comestibles de mucílago de nopal, entonces el uso de películas comestibles hechas de mucilago representan una buena forma de conservar las tunas mínimamente procesadas.

4.1.4.6 PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

En la tabla 40 se muestra el recuento total de microorganismos analizados, exigidos de acuerdo a Norma Técnica Sanitaria dispuesta por DIGESA para frutas mínimamente procesadas, presentada en el ANEXO I. en comparación con dicha norma no se encontraron microorganismos *E. Coli*, los cuales manifiestan contaminación fecal, tampoco se encontró *Salmonella sp* desde el inicio hasta el final de la evaluación durante 18 días tanto para tunas envueltas como para tunas recubiertas. Ccopa (2014) obtuvo resultados en los que se destacaron la ausencia de *E. Coli* y *Salmonella sp* al aplicar una películas de quitosano y gelatina en filetes de trucha.

Tabla 40. Recuento microbiano de las tunas mínimamente procesadas envueltas y recubiertas con películas comestibles en ufc/g

	TE				TR			
	0	6	12	18	0	6	12	18
TIEMPO	0	6	12	18	0	6	12	18
<i>E. coli</i>	A	A	A	A	A	A	A	A
<i>Salmonella</i>	A	A	A	A	A	A	A	A
<i>A Mesofilos</i>	0.707x1 0 ²	2.220x1 0 ²	3.320x1 0 ²	4.310x1 0 ²	0.706x1 0 ²	2.824x1 0 ²	4.310x1 0 ²	8.338x10 ²

A : Ausencia de microorganismos

ufc/g: Unidades Formadoras de Colonia por Gramo

TE: Tuna Envuelta

TR: Tuna Recubierta

Fuente: Elaboración propia

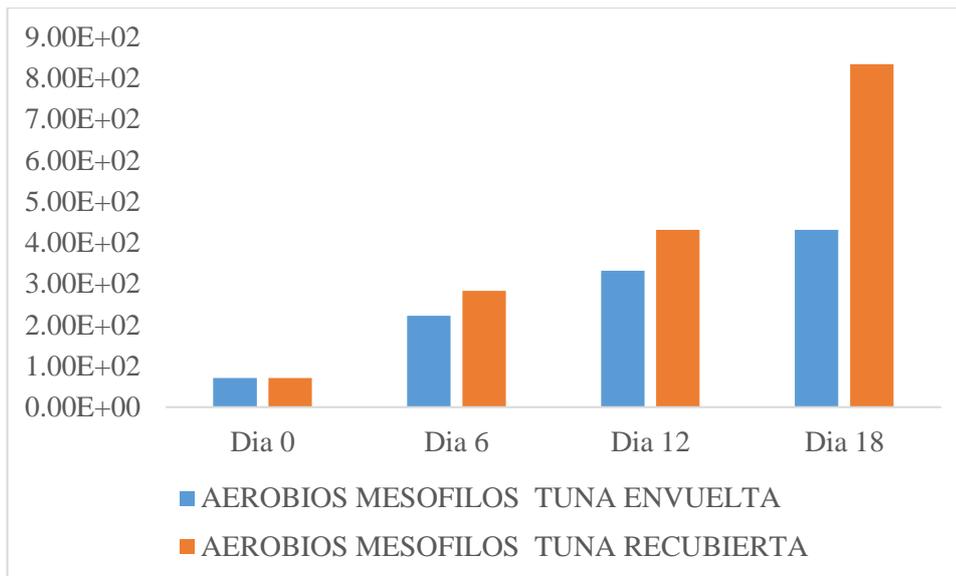


Figura 19. Crecimiento microbiano de *A. mesófilos* durante el tiempo de almacenamiento a 4 ° C de las tunas envueltas y recubiertas con películas comestibles.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 19 muestra el crecimiento microbiano del recuento de *A. mesófilos* del que se observa claramente la diferencia entre las tunas envueltas y las recubiertas, las tunas envueltas con películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna mostró un crecimiento muy lento de dichos microorganismos, los que al ser comparados con la Norma Técnica Alimentaria presentan valores dentro de los rangos permisivos de 10^4 a 10^5 con ello podemos asegurar que las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna son una buena barrera al crecimiento microbiano.

4.2 Discusiones

En la Tabla 9 muestra los valores de humectabilidad para cada ángulo de contacto de acuerdo al porcentaje de CMC obtenidos de las soluciones formadoras de películas en piel de tuna, se observa que la capacidad de humectación de las soluciones formadoras son buenas esto debido a los ángulos de contacto, entre 53.697 y 64.210, lo que sugiere una buena capacidad de humectación de la solución que se extendió sobre la piel de tuna, en general la piel de la manzana valores de mejor difusión en la piel de fruta, debido en



gran parte a la presencia de poros en la piel de tuna y a la ausencia de la capa cerosa con que cuentan la mayoría de las frutas encontradas en el mercado.

Tabla 41. Ángulo de contacto (θ) y humectabilidad (mNm^{-1}) de soluciones formadoras de películas en piel de tuna

% CMC	Ángulo de contacto	Humectabilidad
0.5	53.697 \pm	57.338 \pm
	12.89	7.480
1.0	55.224 \pm	58.969 \pm
	7.480	7.988
1.5	57.170 \pm	61.047 \pm
	7.932	8.470
2.0	64.210 \pm	68.565 \pm
	7.470	7.977

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de ángulo de contacto de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se muestran en la Tabla 10.

Variable dependiente: PERMEABILIDAD

Factores:

TIEMPO

VARIEDAD

CMC

Tabla 42. Tabla ANVA para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas comestibles de cáscara de tuna

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Signif.
TIEMPO	83977233110	60	1399620552	240343.598	**
A:VARIEDAD	12.00000000	2	6	0.00103032	
B:CMC	843.00000000	3	281	4827.0064	**
A x B	765.0000000	6	324	0.4532700	
ERROR EXPERI.	83977187678	180	466539931.5		
ERROR MUEST.	2841826.598	488	5823.41516		
TOTAL (CORR.)	84341277870	733	115063134.9		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 se han identificado 2 grupos “a” y “b” encontrándose dentro del grupo “a” los porcentajes 0.5%, 1.0% y 1.5% CMC entonces no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, se infiere que el grupo que presenta mejores características de ángulo de contacto es el “b” dentro del cual está el 2.0% con 57.255° con un nivel del 99.0% de confianza. Entonces el 2.0% de CMC presenta mejores propiedades de humectación ($61.137 \text{ m N m}^{-1}$) esto se traduce como una gran interacción entre el líquido y la superficie por las fuerzas de dispersión que pueden influir en la propagación efectiva de recubrimiento sobre la superficie.



Tabla 43. Prueba de comparación de Tukey para Ángulo de contacto (θ) de la solución formadora de películas de cáscara de tuna por % CMC $\alpha = 0.01$

CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
0.5 %	9	53.697	a
1.0 %	9	55.224	a
1.5 %	9	55.170	a
2.0 %	9	57.255	b

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de permeabilidad de las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna se muestran en la Tabla 14.

Variable dependiente: PERMEABILIDAD

Factores:

TIEMPO

VARIEDAD

CMC

Tabla 44. Tabla ANVA para Permeabilidad al vapor de agua (g/msPa) de las películas comestibles de cáscara de tuna. $\alpha = 0.05$

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc	Signif.
TIEMPO	7.04674E-09	16	4.40E-10	1.89E-03	
A: VARIEDAD	2.58E-09	2	1.29E-09	5.54E-03	
B: CMC	1.583E-05	3	5.28E-06	2.27E+01	**
A x B	3.972E-05	6	3.552E-06	1.652E-03	
ERROR EXPERI.	1.58216E-05	51	3.10E-07		
ERROR MUEST.	3.16408E-05	136	2.33E-07		
TOTAL (CORR.)	1.78044E-08	208			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 presenta el análisis de varianza (ANVA) para la permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles de cáscara de 3 variedades de tuna a diferentes porcentajes de CMC hallando que no existe diferencia estadística a nivel de variedades ni a nivel de tiempos, pero si con respecto a los a los tratamientos de CMC% en estudio, los cuales son diferentes en forma altamente significativa con un 95.0% de nivel de confianza. Para interpretar mejor se realizó la prueba de comparación de *Tukey* para conocer cuál es la diferencia entre los diferentes porcentajes de CMC.

Tabla 45. Prueba de comparación de Tukey para Permeabilidad al vapor de agua (g/msPa) por % CMC de las películas comestibles $\alpha = 0.01$

CMC	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
1.5 %	9	1.5057E-05	A
2.0 %	9	1.5842E-05	a
0.5 %	9	1.9157E-05	b
1.0 %	9	2.0410E-05	c

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 15 muestra un procedimiento de comparación múltiple *Tukey* para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se han identificado 3 grupos “a”, “b” y “c” de los cuales destacan los pertenecientes al grupo “a”, este grupo es el mejor porque son menos permeables al vapor de agua más específicamente el 1.5% de CMC con 1.5 E-05 por presentar el valor más bajo de permeabilidad, dejando a los grupos “b” y “c” como los más altos lo cual no es conveniente debido a que supone una alta absorción de vapor de agua lo que condujo a su deterioro (tabla 13), asociado, en parte, a la presencia de solutos polares de bajo peso molecular e iónicos. Fabra *et al.*, (2008), esto con un nivel del 99.0% de confianza.

En el proceso de la permeabilidad de una película están involucrados fenómenos de adsorción de agua en la capa en contacto con la mayor HR, de difusión a través del grosor del film y de desorción en la capa en contacto con la menor HR (Trejo *et al.*, 2001). Todo esto conlleva la ganancia de humedad de la película y el establecimiento de un gradiente de concentración de agua en el mismo. Por otro lado Canaza, 2010 afirma que

la presencia del glicerol como plastificante en películas representa un gradual incremento en la permeabilidad de agua.

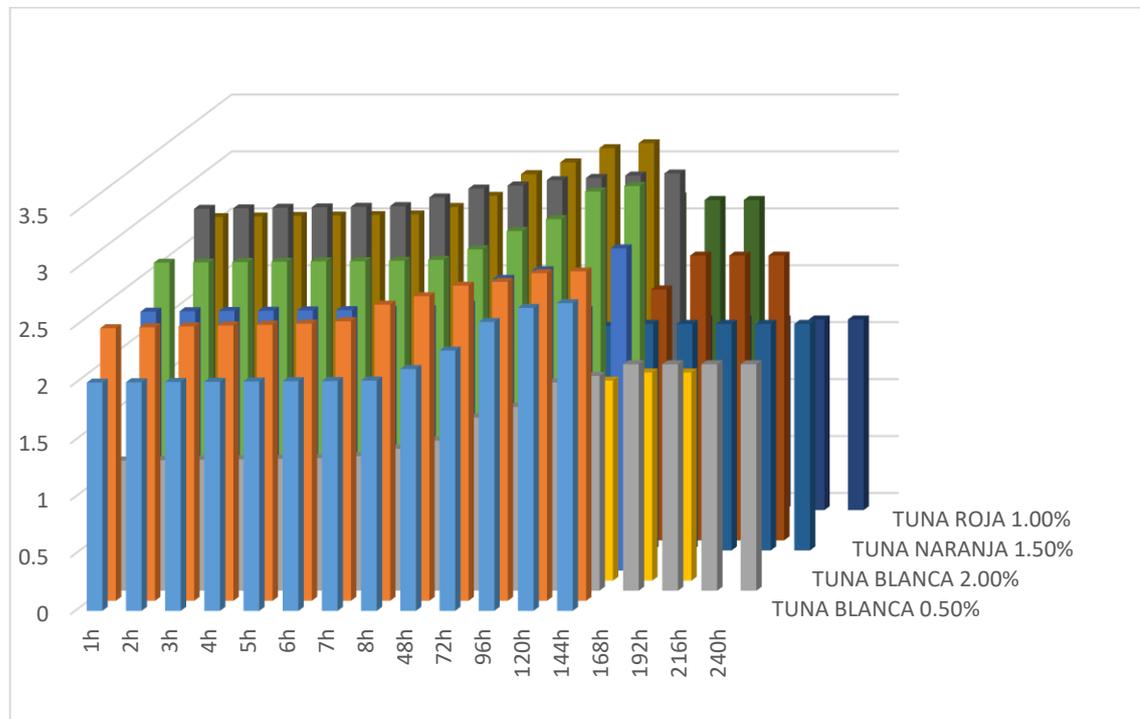


Figura 20. Permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna con diferentes % CMC

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado en el experimento se observó que las películas con 0.5%, 1.0% y 2.0% de CMC no soportaron las condiciones de prueba realizadas para permeabilidad al vapor de agua, esto debido al grosor de las películas, Bosquez (2003), afirma que el grosor de las películas comestibles están relacionadas con la permeabilidad, indicando que la permeabilidad de las películas elaboradas a partir de goma de mezquite, aumento con el grosor, Tabla 7, entonces para películas muy delgadas, con 0.5% y 1.0% CMC, tienen a deshacerse y películas muy gruesas absorben mucho vapor de agua debido a su capacidad hidrofílica (2.0% CMC), eso deja a la película con 1.5% de CMC como la más óptima con una permeabilidad de $1.6738 \text{ g/Pa s m} \times 10^{-5}$ como se muestra en la Figura 10.



V. CONCLUSIONES

- Las propiedades que mejor caracterizan a las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna son: equilibrio del ángulo de contacto, el 2.0% CMC con 57.255° y una humectación de $61.137 \text{ m N m}^{-1}$; la permeabilidad al vapor de agua no se vio afectada por la variedad y si por el % de sustitución de CMC, 0.5% y 1.0% son películas con alta permeabilidad $1.9157\text{E-}05 \text{ g/msPa}$ y $2.0410\text{E-}05 \text{ g/msPa}$ respectivamente, lo cual es muy desfavorable, mientras con 1.5% y 2.0% CMC son películas con una permeabilidad al vapor de agua aceptable $1.5057\text{E-}05 \text{ g/msPa}$ y $1.5842\text{E-}05 \text{ g/msPa}$ respectivamente, siendo la sustitución de 1.5% CMC la que mejor responde; propiedades mecánicas con valores de Esfuerzo de Fractura (T): 78.3803 MPa, Porcentaje de deformación de Hencky ($\% \epsilon_H$): 18.8401 % y Módulo de elasticidad (E): 2.83712 Mpa, los cuales pertenecen a la sustitución de 2.0 % de CMC,
- La aplicación de películas comestibles en tunas mínimamente procesadas, tunas envueltas, resultó eficaz para reducir el descenso de pH, incremento de la acidez y para frenar la pérdida de peso, firmeza y el desarrollo bacteriano de *Aerobios mesófilos* mientras que la aplicación de soluciones formadoras de películas no resultó eficaz debido al alto contenido de agua de la tuna que se mezcló con la solución líquida formadora, perjudicando así el secado y acelerando el crecimiento de microorganismos que llevan a su deterioro.



VI. RECOMIENDACIONES

Que la película comestible de mucilago de cascara de tuna (*Opuntia ficus indica*), debe ser estudiada con mayor profundidad y su aplicación a través de pruebas de conservación de alimentos.

Realizar evaluaciones sobre permeabilidad (O_2 y CO_2), con la finalidad de ampliar la investigación en razón en que las películas estarán en contacto con los alimentos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abraján, M. (2008). Efecto del Método de Extracción en las características Químicas y Físicas del Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como Recubrimiento Comestible. Valencia – España.

Alonso, C. C. (2011). Caracterización de Películas Comestibles de Quitosano y la afección de las Propiedades por Aplicación de Aceites Esenciales Bogotá – Colombia.

Álvarez B. (2007). Análisis de Factibilidad del cultivo de Tuna en la localidad de Icaño, departamento de la Paz. Bolivia.

Andrade, A. S. y Rivadeneira, J. L. (2010). Determinación de los Parámetros Óptimos en la Elaboración de Vino de Miel de Abeja utilizando dos Tipos de Aglutinantes Naturales, Mucílago de Cadillo negro (*Triumfetta lappula L.*) y Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*), Como Clarificantes.

Bósquez, E. (2003). Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón Persa.

Castro, J. J., Paredes, C. y Muñoz, D. (2009). “CULTIVO DE TUNA” *Opuntia ficus indica*, Gerencia Regional Agraria La Libertad. Trujillo – Perú.

Cerqueira, M., Lima, A., Teixeira, A., Moreira, R. and Vicente, A. (2009). Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits. *Journal of Food Engineering* 94, 372 – 378.

Chen, H. 1995. Funtional properties and application of edible films made of proteins milk proteins. *Journal of Dairy Science*.



Choi, W., Park, H., Ahn, D., Lee, J. and Lee, C. (2002). Wettability of chitosan coating solution on “Fuji” apple skin. *Journal and Food Science* 67, 2668 – 2672.

Del Valle, V., Hernández – Muñoz, P., Guarda, A. and Galotto, M. J. (2004). Development of a Cactus – mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf – life. Santiago – Chile.

Hoffman, W. (1985). Cultivo de las cácteos en el Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito – Ecuador.

Horst, B. y Ljubica, G. (2007). Procedimientos utilizados en investigación para lograr inocuidad en vegetales frescos cortados. *Colliodes Naturels de México*. México.

Kaplan, H.J. (1986). Washing, Waxing and color Adding. En Fresh Citrus Fruit. W.F. Wardowski, S.

Manners, D. J. (1993). Some aspects of the structure of starch. Cereal foods World. Academic Press. London.

Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S., Moalemiyan, M. y Kushalappa, A.C. 2007b. Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers*, 68: 341-349.

Miller, K. S. and Krochta, J. M. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A Review. *TrendsFoodSci. Technol.* 8:228-237.

MINSA/DIGESA. Norma Técnica Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. NTS 071/ 2008. Perú.



Navarro, M. L. (2007). Efecto de la Composición de Recubrimientos Comestibles a base de Hidroxipropilmetilcelulosa y Cera de Abeja en la Calidad de Ciruelas, Naranjas y Mandarinas. Valencia – España.

Ochoa, C. E. y Guerrero, J. A. (2012). Efecto del Almacenamiento a Diferentes Temperaturas sobre la Calidad de Tuna Roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). Puebla – México.

Ornelas, J. L. (2011). Mejoramiento del Método de Extracción de Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) y Evaluación de sus Propiedades de Viscosidad. Michoacán – México.

Pelczar, M., Reid, R. y Chan, E. (1994). Microbiología. 2da Edición. Traducida de la cuarta Edición en inglés de Microbiology. Editorial McGraw – Hill. México.

Ramirez, C. A., Gallegos, I., Ihl, M. and Bifani, V. (2011). Study of contact angle, wettability and water vapor permeability in carboxymethylcellulose (CMC) based film with murta leaves (*Ugni molinae Turcz*) extract. *Journal of Food Engineering* 109, 424 - 429. Chile.

Repo de Carrasco, R. y Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Lima – Perú.

Ruiz, H. F. y Guerrero B. J. (2009) Aplicación de las Películas Comestibles a base de Quimostato y Mucílago de Nopal en Fresa (*Fragaria ananasa*) en Refrigeración. México.

Sáenz. C. (2006). Utilización Agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma – Italia.



Skurtys, O., Velásquez, P., Henriquez, O., Matiacevich, S., Enrione, J. and Osorio, F. (2011). Wettnng behavior of chitosan solutions on blueberry epicarp with or without epicuticular waxes. *LWR Food Science and Technology* 44, 1449 – 1457. Chile.

Yang, L. and Paulson, A. T. (2000), Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films. *Food Res. Int.* 33:563-570.

Zisman, W. (1964). Relation of the equilibrium contact angle to liquid and solid construction. U.S. *Naval Research Laboratory Washington*.



ANEXOS

ANEXO 8-1 . Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad e inocuidad para: Frutas, hortalizas, frutos secos y otros vegetales

XIV. FRUTAS, HORTALIZAS, FRUTOS SECOS Y OTROS VEGETALES.

XIV.1. Frutas y hortalizas frescas (sin ningún tratamiento)

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					m	M
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10 ²	10 ³
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausen/25g	----- -

XIV.2. Frutas y hortalizas semiprocesadas (Lavadas, desinfectadas, peladas, cortadas y/o precocidas) refrigeradas y/o congeladas.

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					m	M
<i>Aerobios mesófilos</i>	1	3	5	3	10 ⁴	10 ⁶
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	10 ²
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausen/25g	----- -
<i>Listeria monocytogenes</i>	10	2	5	0	Ausen/25g	----- -
(*)						-

(*) sólo para frutas y hortalizas de tierra (a excepción de las precocidas)



XIV.3 Frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					M	m
Mohos	2	3	5	2	10^2	10^3
Levaduras	2	3	5	2	10^2	10^3
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	5×10^2
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausen/25g	----- -

XIV.4 Frutas y hortalizas en vinagre, aceite o salmuera o fermentadas

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					M	M
Levaduras	3	3	5	1	10^3	10^4

XIV.5 Frutos secos (dátiles, tamarindo, otros) y semillas (castañas, maní, pecanas, nuez, almendras, otros).

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	C	Límite por g	
					M	M
Mohos	3	3	5	1	10^2	10^3
Levaduras	3	3	5	1	10^2	10^3
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	10^2

XIV.6 Mermelada, jaleas y similares

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					M	M
Mohos	3	3	5	1	10^2	10^3
Levaduras	3	3	5	1	10^2	10^3

Fuente: MINSA/DIGESA, 2003

ANEXO 8-2. MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE VARIEDAD DE TUNA BLANCA



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-3. MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE VARIEDAD DE TUNA NARANJA



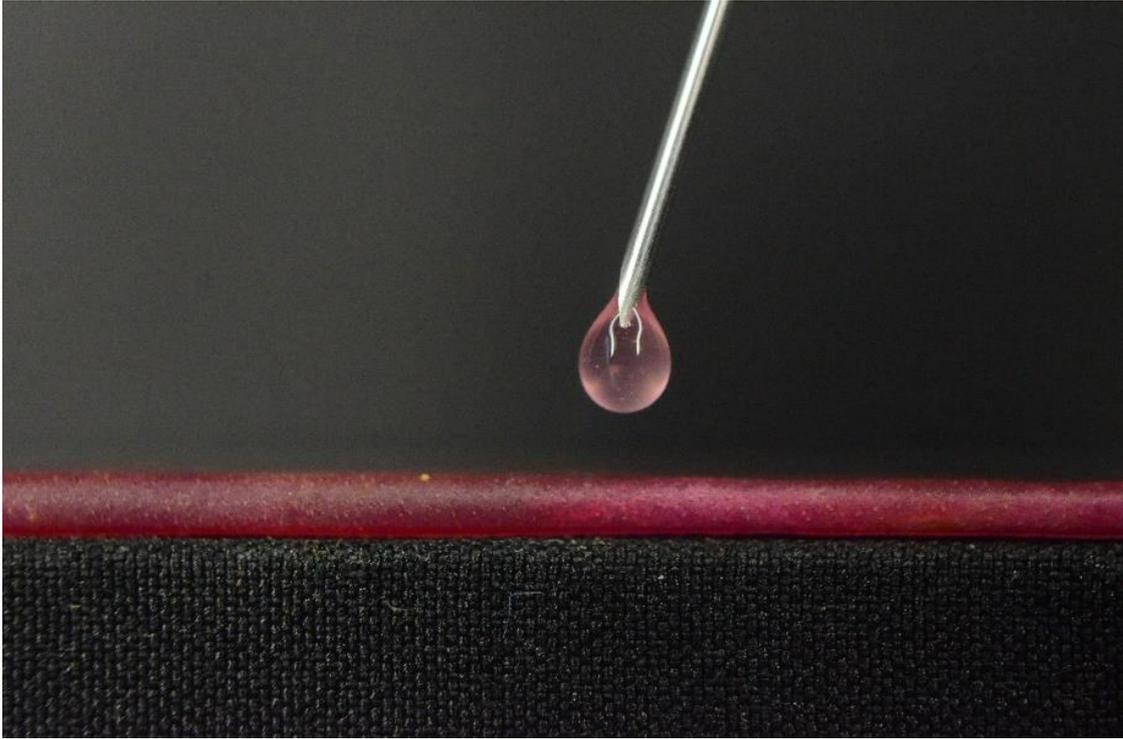
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-4. MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE VARIEDAD DE TUNA ROJA



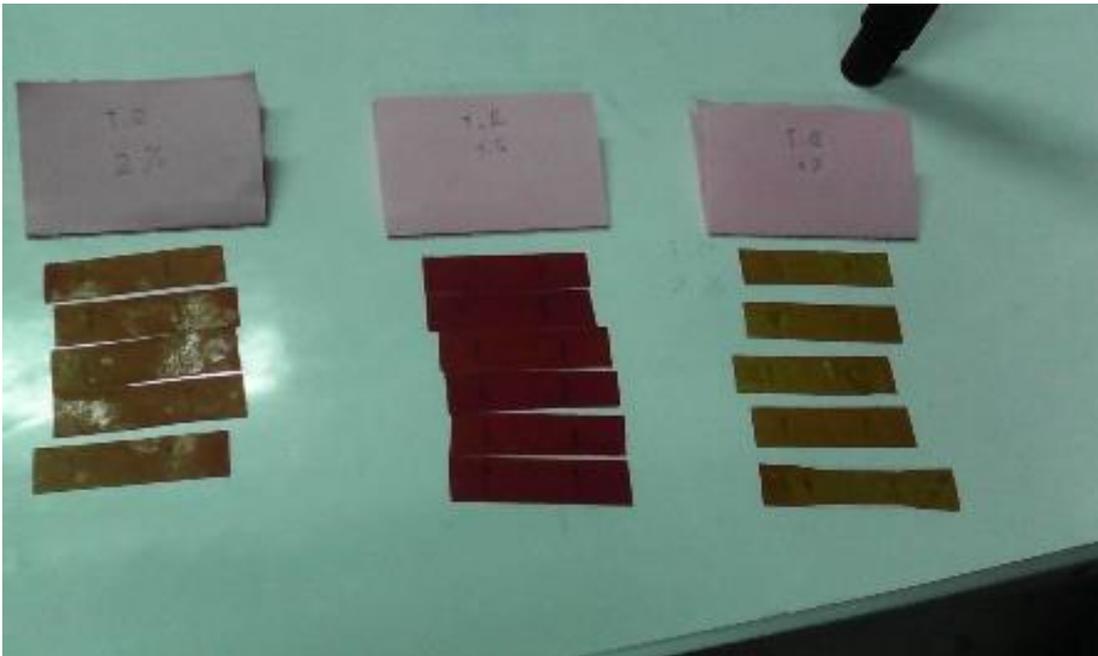
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-5. DETERMINACION DEL ANGULO DE CONTACTO



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-6. PELÍCULAS PARA DETERMINACION DE PRUEBAS MECANICAS



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-7. DETERMINACION DE PRUEBAS MECANICAS



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-8. TUNA ENVUELTA CON PELÍCULA COMESTIBLE AL DÍA 18



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8-9. TUNA RECUBIERTA CON PELÍCULA COMESTIBLE AL DÍA 18



Fuente: Elaboración propia.