

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL.

DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PELÍCULAS COMESTIBLES
OBTENIDAS DE MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE
TUNA (*Opuntia spp*) Y ALMIDÓN DE CÁSCARA
DE PAPA (*Solanum tuberosum*)**

TESIS

PRESENTADO POR

ERICA AYQUIPA CUELLAR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Abancay, mayo del 2018

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL.

DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PELÍCULAS COMESTIBLES
OBTENIDAS DE MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE
TUNA (*Opuntia spp*) Y ALMIDÓN DE CÁSCARA
DE PAPA (*Solanum tuberosum*)”**

TESIS

PRESENTADO POR

ERICA AYQUIPA CUELLAR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

ABANCAY- PERÚ

2018

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PELÍCULAS COMESTIBLES
OBTENIDAS DE MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE
TUNA (*Opuntia spp*) Y ALMIDÓN DE CÁSCARA
DE PAPA (*Solanum tuberosum*)”**



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL.

DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

DR. ECON. LEONARDO ADOLFO PRADO CÁRDENAS.

RECTOR.

DR. ROLANDO RAMOS OBREGÓN.

VICERRECTOR ACADÉMICO.

DRA. IRIS EUFEMIA PAREDES GONZÁLES

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN.



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL.

DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

AUTORIDADES DE FACULTAD

PhD Ing. LUCY MARISOL GUANUCHI ORELLANA

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

MSc. GUADALUPE CHAQUILLA QUILCA

DIRECTORA DE ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AGROINDUSTRIAL

ING. DARIO DANTE SANCHEZ CASTILLO

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE LA FACULTAD DE

INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PELÍCULAS COMESTIBLES OBTENIDAS DE MUCÍLAGO DE CÁSCARA DE TUNA (*Opuntia spp*) Y ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PAPA (*Solanum tuberosum*)”

Presentado por: ERICA AYQUIPA CUELLAR, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Sustentado y aprobado el 24 de abril del 2018 ante el jurado:

Presidente:

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
M.Sc. Cándida López Loayza
DOCENTE

M.Sc. Cándida López Loayza

Primer miembro:

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
Ing. Lourdes Salcedo Sucasaca
DOCENTE

Ing. Lourdes Salcedo Sucasaca

Segundo miembro:

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
Lic. Virgilio Quispe Delgado
DOCENTE

M.Sc. Virgilio Quispe Delgado

Asesor:

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
M.Sc. Guadalupe Chaquilla Quilca
DOCENTE

M.Sc. Guadalupe Chaquilla Quilca



ES COPIA FIEL DEL ORIGINAL

Acta de sustentación de tesis

En el aula magna de la ciudad universitaria de Tumbuco, de la Universidad Nacional Ricardo Palma, Lastrillas de Apurimac, siendo las dieciséis horas con veinte minutos del día martes con fecha veinticuatro (24) del mes del abril del año Dos mil dieciocho, dando cumplimiento al Memorando Múltiple N° 036-2018-D-EAPIA-UNAMBA, se da inicio al acto de sustentación de tesis titulado "Caracterización física de películas comestibles obtenidas de mandioca y cáscara de papa (*Solanum tuberosum*)" presentado por la bachiller Erica Aguilar Cuellar, siendo el jurado evaluador conformado por:

- Lic. Cándida López Loayza Presidente
- Ing. Lourdes Salcedo Escaraca Primer miembro
- Lic. Virgilio Quipe Delgado Segundo miembro

Por lo que el Presidente del jurado da inicio al acto de sustentación otorgándole un tiempo de cuarenta minutos a la sustentante, luego del tiempo establecido, los miembros del jurado hacen alcance de las observaciones, además de consultas solicitando la aclaración que requiere cada caso, las cuales fueron absueltas oportunamente por la bachiller sustentante.

El presidente del jurado, solicita la participación de la asesora Dr. Guadalupe Chaquillo Zúñiga, culminado ello, la presidente solicita al público asistente a abandonar el aula, pero que el jurado deliberare el acto de sustentación, transcurrido este periodo el jurado decide otorgar por unanimidad la nota de Dieciséis (16).

Siendo las dieciséis horas del mismo día, lugar y año se concluye con la sustentación, dando fe de lo actuado, el jurado hace fe del presente en señal de conformidad.

Lic. Lourdes Salcedo Escaraca
DOCENTE

Lic. Cándida López Loayza
DOCENTE

Lic. Virgilio Quipe Delgado
DOCENTE

46946018

Lic. Guadalupe Chaquillo Zúñiga
DOCENTE

CERTIFICADO
Este documento es una copia fiel del original que conserva la validez de la original en caso de presentarse.

24 MAR 2018
Lic. Frank Escobar U...
SECRETARÍA GENERAL



AGRADECIMIENTO

Escribir estas líneas me permite expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a Dios y a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo.

A mis padres Margarita Cuellar López, Teófilo Ayquipa Álvarez y a mis hermanos por su apoyo incondicional.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por facilitarme todos los medios para desarrollar satisfactoriamente mi investigación

A la Dirección de Investigación de la UNAMBA, por el apoyo económico brindado para concretar mi investigación y titulación.

A mi asesora M.Sc. Guadalupe Chaquilla Quilca por compartir sus conocimientos, su tiempo y dedicación, así mismo a los jurados: Ing. David Fernando Palomino Quispe, M.Sc. Cándida López Loayza, Ing. Lourdes Salcedo Sucasaca, M.Sc. Virgilio Quispe Delgado, por su alcance ya que han permitido la consecución de esta investigación.

A Pamela Espinoza Sánchez, mis amigos que depositaron su confianza en mí y me apoyaron en diferentes etapas del trabajo de investigación, también agradezco a todas aquellas personas que en algún momento estuvieron allí apoyándome creyendo en mí y en la importancia del tema investigado.

DEDICATORIA

La tesis va dedicada a la persona que me ha servido de inspiración, de quien aprendo y seguiré aprendiendo constantemente.

Para mi hermana:

MARIA ANGELICA AYQUIPA CUELLAR.



ÍNDICE

	Pág.
INDICE.....	i
LISTA DE TABLAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS.....	vii
GLOSARIO.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	01
1.1.OBJETIVOS	02
1.2. HIPÓTESIS	02
II. MARCO TEÓRICO	03
2.1. Materias primas	03
2.1.1. Tuna (<i>Opuntia spp</i>)	03
2.1.1.1. Origen de la tuna.....	03
2.1.1.2. Clasificación científica	03
2.1.1.3. Clasificación taxonómica	04
2.1.1.4. Descripción botánica	05
2.1.1.5. Descripción morfológica	05
2.1.1.6. Composición química de la tuna	06

2.1.1.7. Descripción del fruto (tuna).....	07
2.1.1.8. Mucílago de tuna	08
2.1.1.8.1. Flujograma de Extracción de mucílago	10
2.1.2. Papa	11
2.1.2.1. Origen de la papa	11
2.1.2.2. Definición de la papa	11
2.1.2.3. Clasificación taxonómica	11
2.1.2.4. Descripción morfológica	12
2.1.2.4.1. Variedades de la papa	13
2.1.2.5. Composición química	14
2.1.2.6. Almidón	14
2.1.2.6.1. Usos industriales del almidón	16
2.1.2.6.2. Extracción de almidón	18
2.1.2.6.2.1. Flujograma para la extracción de almidón	18
2.1.3. Sustancias adicionales	19
2.1.4. Producto final	23
2.1.4.1. Película comestible (films)	22
2.1.4.2. Métodos de obtención de películas	24
2.1.4.3. Factores que influyen en la obtención de films	24
2.1.4.4. Técnicas para la caracterización de películas comestibles	25
2.1.4.4.1. Técnicas para caracterizar películas comestibles	25
2.1.4.5. Equipos y aparato para la obtención y caracterización	34

III. PARTE EXPERIMENTAL	38
3.1. Materia prima	38
3.2. Lugar de ejecución	38
3.3. Equipos, materiales y reactivos.....	38
3.4. Obtención de materias primas	39
3.4.1. Descripción del proceso de obtención de almidón de cáscara de papa	40
3.4.2. Descripción del proceso de obtención de mucílago de cáscara de tuna	42
3.5. Descripción del proceso de obtención de películas comestibles	44
3.6. Caracterización de las películas comestibles	46
3.6.1. Determinación del espesor	46
3.6.2. Determinación de la densidad	46
3.6.3. Determinación de humedad	46
3.6.4. Determinación de la solubilidad	46
3.6.5. Determinación de la capacidad de retención de agua	47
3.6.6. Determinación de la permeabilidad.....	45
3.6.7. Determinación de la opacidad	47
3.6.8. Determinación por espectroscopia infrarrojo	47
3.7. Diseño experimental	48
3.7.1. Operacionalización de variables.....	50
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	51
4. Resultados de obtención de las películas comestibles.....	51
4.1. Resultados de características físicas de las películas comestibles.....	51
4.1.1. Análisis del espesor de las películas comestibles.....	52
4.1.2. Análisis de la densidad de las películas comestibles.....	54

4.1.3. Análisis de la humedad de las películas comestibles	57
4.1.4. Análisis de la solubilidad de las películas comestibles	60
4.1.5. Análisis de la capacidad de retención de agua de las películas comestibles	64
4.1.6. Análisis de la permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles	66
4.1.7. Análisis de la opacidad de las películas comestibles.....	69
4.1.8. Análisis de FTIR de las películas comestibles	71
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones	76
VI. BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	87

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1: Clasificación científica de la tuna.....	04
Tabla N° 2: Clasificación taxonómica de la tuna.....	04
Tabla N° 3: Composición química de la tuna.....	07
Tabla N° 4: Composición química del mucílago.....	10
Tabla N° 5: Clasificación taxonómica de la papa.....	12
Tabla N° 6: Composición química de la papa.....	14
Tabla N° 7: Posición de bandas de absorción	35
Tabla N° 8: Equipos para investigación.....	38
Tabla N° 9: Materiales para la investigación.....	39
Tabla N° 10: Materia prima y reactivos.....	40
Tabla N° 11: Características fisicoquímicas de sustancias utilizadas	44
Tabla N° 12: diseño experimental para Formulación del estudio	49
Tabla N° 13: Operacionalización de variables.....	50
Tabla N° 14: Formulación determinada para seis tratamientos.....	51
Tabla N° 15: Análisis de varianza del espesor de las películas comestibles.....	52
Tabla N° 16: Prueba de Duncan para espesor.	53
Tabla N° 17: Análisis de varianza de la densidad de las películas comestibles.....	55
Tabla N° 18: Prueba de Duncan para la densidad	56

Tabla N° 19: Análisis de varianza de %humedad de las películas comestibles.....	57
Tabla N° 20: Prueba de Duncan para % humedad	59
Tabla N° 21: Análisis de varianza de % solubilidad de las películas comestibles.....	61
Tabla N° 22: Prueba de Duncan para %solubilidad	62
Tabla N° 23: Análisis de varianza de CRA de las películas comestibles.....	65
Tabla N° 24: Prueba de Duncan para % CRA.....	65
Tabla N° 25: Análisis de varianza del PVA de las películas comestibles.....	66
Tabla N° 26: Prueba de Duncan para permeabilidad	67
Tabla N° 27: Análisis de varianza de la opacidad de las películas comestibles.....	70
Tabla N°28: Prueba de Duncan para opacidad	70

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1: Tallo, flor y fruto de tuna.....	06
Figura N° 2: Composición de mucílago de tuna.....	09
Figura N° 3: Posible estructura de mucílago de tuna.....	09
Figura N° 4: Estructura química del almidón amilosa y amilopectina.....	15
Figura N° 5: Estructura de la glicerina	21
Figura N° 6: Regiones básicas de un IR.....	34
Figura N° 7: Variación del espesor de las películas comestibles.....	52
Figura N° 8: Variación de la densidad de las películas comestibles.....	54
Figura N° 9: Variación del % de humedad de las películas comestibles.....	57
Figura N° 10: Variación del % solubilidad de las películas comestibles.....	61
Figura N° 11: Variación del % de CRA de las películas comestibles.....	64
Figura N° 12: Variación del PVA de las películas comestibles.....	66
Figura N° 13: Variación de la opacidad de las películas comestibles.....	69
Figura N° 14: Espectros componentes de las películas comestibles.....	72
Figura N° 15: Espectros del FTIR de las películas comestibles.....	73

GLOSARIO

Película comestible	Una película comestible (PC) es una matriz preformada, delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo.
Recubrimiento comestible	Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento.
Glicerol	También conocido como glicerina, al líquido incoloro y espeso que forma la base de la composición de los lípidos. Es un compuesto alcohólico con tres grupos -OH (hidroxilos)
Almidón	Es una macromolécula compuesta de dos polisacáridos, la amilosa 20 % y la amilopectina 80 %. Es el glúcido de reserva de la mayoría de los vegetales
Extracción	Es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interface.
Caracterización	La Real Academia define caracterizar como "determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás".

RESUMEN

Las películas comestibles están adquiriendo gran importancia como alternativa de empaque en alimentos por su carácter biodegradable, bajo este contexto, el objetivo del estudio fue obtener y caracterizar películas comestibles a partir del mucílago de la cáscara de tuna y almidón de la cáscara de papa, ambos subproductos de la agroindustria.

Una vez extraído el mucílago de la cáscara de tuna y el almidón de la cáscara de papa, se procedió a la elaboración de las películas comestibles adicionándole glicerina y vinagre en 6 diferentes formulaciones; luego se realizó la caracterización físicas: Espesor, densidad, humedad (H), solubilidad en agua (SA), capacidad de retención de agua (CRA), permeabilidad al vapor de agua (PVA) y opacidad, los resultados nos indican que se encontraron diferencias entre tratamientos ($p < 0.05$); en el caso del espesor, se reportaron valores desde 0.17 mm hasta 0.28 mm, respecto a los resultados de densidad de las películas se mantuvieron en rango de 1.03 a 1.70 g/cm^3 , así también en opacidad se hallaron resultados entre 0.63 a 1.01 mm^{-1} , estas dos características se vieron influenciadas directamente por el espesor ya que tratamientos con más densidad fueron los que tuvieron mayor espesor (X_2 , X_3) lo mismo ocurrió con opacidad el tratamiento que tuvo la más alta opacidad (X_3) fue uno de los que presentó mayor espesor.

Respecto a H se encontró porcentajes que van desde 20.28 a 25.13 %; así también en SA los valores estuvieron entre 49.97 a 62.58 %, en el caso de CRA, se obtuvieron valores entre 15.31 a 38.47 % y finalmente en relación al PVA la propiedad más importante de una película se obtuvieron valores desde 1.39 a 7.20 $\times 10^{-18} \text{ g/m}^2\text{min.Pa}$, se puede ver que los resultados en estas propiedades fueron influenciados más por la composición de la formulación, especialmente del mucílago, almidón y glicerina, ya que tratamientos con contenidos intermedios a altos en estos componentes (X_2 , X_5 , X_6 , X_3 y X_4) presentaron valores más altos, otro factor que al parecer también influyó fue la homogenización de los componentes y su interacción molecular.

El análisis de FTIR permitió la identificación de grupos funcionales predominantes en los componentes, así como también en las películas, encontrando similitudes entre los espectros de los 6 tratamientos.

Cabe destacar que los bajos valores reportados para PVA frente a otros estudios indicarían la efectividad de la película en futuras aplicaciones. Por lo que se concluyen que es viable la obtención de películas de mucílago y almidón de cáscara de tuna y papa, dándole valor agregado a subproductos de la agroindustria, y contribuyendo a su vez con el ambiente.

Palabras clave: Mucílago de cáscara de tuna, almidón de cáscara de papa, película comestible.

ABSTRACT

Edible films are becoming very important as an alternative to packaging in food due to their biodegradable character. In this context, the objective of the study was to obtain and characterize edible films from the mucilage of the tuna hull and starch of the potato skin, both Byproducts of agro-industry.

Once the mucilage was extracted from the tuna hull and the starch from the potato husk, the edible films were elaborated adding glycerin and vinegar in 6 different formulations; then the physical characterization was performed: Thickness, density, humidity (H), water solubility (SA), water retention capacity (CRA), water vapor permeability (PVA) and opacity, the results indicate that they were found differences between treatments ($p < 0.05$); in the case of the thickness, values from 0.17 mm to 0.28 mm were reported, with respect to the density results of the films they were maintained in the range of 1.03 to 1.70 g / cm³, as well as in opacity, results were found between 0.63 to 1.01 mm⁻¹, these two characteristics were influenced directly by the thickness since treatments with more density were those that had greater thickness (X₂, X₃) the same happened with opacity the treatment that had the highest opacity (X₃) was one of those that I present greater thickness.

Regarding H, we found percentages ranging from 20.28 to 25.13%; also in SA the values were between 49.97 to 62.58%, in the case of CRA, values were obtained between 15.31 to 38.47% and finally in relation to the PVA the most important property of a film values were obtained from 1.39 to 7.20 x 10⁻¹⁸ g / m²min.Pa, it can be seen that the results in these properties were influenced more by the composition of the formulation, especially the mucilage, starch and glycerin, since treatments with intermediate to high contents in these components (X₂, X₅, X₆, X₃ and X₄) presented higher values, another factor that apparently also influenced was the homogenization of the components and their molecular interaction.

The FTIR analysis allowed the identification of predominant functional groups in the components and the films, finding similarities between the spectra of the 6 treatments.

It should be noted that the low values reported for PVA compared to other studies would indicate the effectiveness of the film in future applications. So it is concluded that it is viable to obtain films of mucilage and starch of tuna and potato rind, giving added value to by-products of the agro-industry, and in turn contributing to the environment.

Key words: Tuna hull mucilage, potato skin starch, edible film.

I. INTRODUCCION

Según el Ministerio del Ambiente (2016), en el Perú solo el 48 % de la basura se deposita en un relleno sanitario, el resto va a botaderos y ríos. Según el INEI en el 2015 se recolectó 190,057 kg de residuos sólidos en Apurímac y que cierta cantidad es dispuesta en los 58 botaderos a cielo abierto que existen en el departamento, cabe mencionar que estos botaderos representan un vector de contaminación al ambiente y a la población; por lo que se encamina en la búsqueda de soluciones para los problemas diarios de contaminación y conservación saludable de alimentos, así mismo se utilizan empaques como plásticos que tienen una estructura molecular difícil de degradar y permanecen inalterables por un periodo de entre 100 y 500 años, además los plásticos pueden provocar una modificación inaceptable en la composición de los alimentos, alteración de las características organolépticas.

Las tecnologías de envasado deben encaminarse hacia el equilibrio entre la protección de los alimentos, mejor aprovechamiento de la energía, costos de material, y, una mayor conciencia ambiental. El consumo de productos como la tuna y papa vienen creciendo continuamente y por ende se producen residuos orgánicos como las cáscaras que también contienen polímeros naturales como mucílago y almidón respectivamente que por sus características fisicoquímicas podrían tener un aprovechamiento agroindustrial.

Bajo este contexto la presente investigación es una propuesta para producir películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa con buenas características físicas, ya que en la industria de alimentos la calidad de los productos cumple un papel predominante en la aceptación o rechazo de estos.

1.1.OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar las características físicas de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa.

Objetivos específicos

- Determinar las cantidades en las que se utilizarán el mucílago de cáscara de tuna y el almidón de cáscara de papa para la obtención de películas comestibles.
- Determinar las características físicas de las películas comestibles mediante el análisis de: espesor, densidad, contenido de humedad, solubilidad en agua, capacidad de retención de agua, permeabilidad al vapor de agua, opacidad y FTIR.

1.2. HIPÓTESIS

Hipótesis general

Es posible obtener películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa con características físicas adecuadas.

Hipótesis específicas

- H1: Las cantidades de mucilago de cáscara de tuna y el almidón de cáscara de papa, influyen en la obtención de las películas comestibles.
- H2: Las características físicas de las películas comestibles están influenciadas por la cantidad de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1. Materias Primas

2.1.1. Tuna (*Opuntia spp*)

2.1.1.1. Origen del tuna (*Opuntia spp*)

Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época de Horizonte Preagrícola (10000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay, en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. Las opuntias han sido documentadas como elementos importantes de las culturas Paracas, Nazca, Moche, e Inca.

Sin embargo, el grupo de las platyopuntias dentro del que se encuentra la tuna, solo ha sido reportado en las culturas Moche e Inca.

En el siglo XVIII los navegantes la distribuyeron en gran parte del mundo, ya que la consumían en ensaladas por sus propiedades antiescorbúticas (Amaya, J., 2009).

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano (FAO, 2006).

2.1.1.2. Clasificación científica

Pertenece al género de plantas suculentas, ornamentales, de la familia de las Cactáceas, con tallo con artejos elipsoidales u ovals, espinosos, llamados cladodios (Tosco, U., 1979).

TABLA N° 1. Clasificación científica de la tuna (*Opuntia ficus indica*)

Clasificación científica	
Familia	Cactaceae
Genero	Oputinia
Subgénero	Platyoputinia
Origen	México

Fuente: CONAZA, (1981).

2.1.1.3. Clasificación taxonómica

La taxonomía de las tunas es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre las que destaca el hecho de que los fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales. Además, es frecuente encontrar casos de poliploidía, ya que se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos, lo que complica más su clasificación (Sáenz, C., 2006). La nomenclatura científica de la tuna se muestra en tabla 2.

TABLA N° 2. Clasificación taxonómica de la tuna

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Caryophyllales
Familia	: Cactaceae
Tribu	: Opuntiae
Género	: Opuntia
Especie	: <i>Opuntia ficus indica</i> Mill

Fuente: Sáenz, C., 2006.

2.1.1.4. Descripción botánica

La tuna se desarrolla bien en climas áridos y muy áridos con lluvias de verano, en lo que respecta a suelos, se adapta bien a diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos sueltos, arenosos, de profundidad media, con un pH preferentemente alcalino y a altitudes que varían entre los 800 y 2500 msnm., aunque también pueden encontrarse a altitudes menores cerca de la costa. En terrenos apropiados con pH neutro y sin problema de plagas, la *Opuntia ficus indica* puede llegar a vivir hasta 80 años. Las plantaciones comerciales de explotaciones intensivas, pueden durar 5 años (Amaya, J., 2009).

2.1.1.5. Descripción morfológica

Raíz: El sistema radical de las tunas es muy extenso y superficial, alcanzando una profundidad cercana a los 80 cm, pero se extiende horizontalmente por varios metros. Es un sistema densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales (Sáenz, C., 2006).

Tallo: La tuna o nopal presenta numerosos tallos modificados denominados cladodios o pencas, transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertas por una cutícula de tipo lipídica, esto quiere decir, que evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del lugar; en su hidratación normal alcanza hasta el 95% de agua en peso (Saénz C., 2006). Los cladodios tienen forma ovoide, elíptica u oblonga, similar a una raqueta de tenis; alcanzan una longitud de 33-60 cm y 18-25 cm de ancho; son aplanados, con un grosor de 1.8-2.3 cm; color verde pálido a oscuro, con o sin espinas dependiendo de la variedad.

Los **cladodios** están unidos unos a otros, formando numerosas ramificaciones que pueden llegar a alcanzar una altura de 3 a 5 m. (Álvarez, B., 2007).

Las flores: Son hermafroditas, solitarias y sésiles. Presentan una longitud de 6 a 7 cm y se desarrollan preferentemente en la parte apical del margen superior del cladodio. Sus flores son

de antesis diurna y puede haber hasta 25 flores por cladodio. Las flores abren a los 35-45 días desde su brotación y aparecen en los cladodios después de seis meses (Álvarez, B., 2007).

El fruto: La forma y tamaño de los frutos son variables (los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos) aunque en promedio presentan 7-9 cm de largo, 5-6 cm de diámetro y 8-14 g de peso. Los colores de los frutos también son diversos: cáscaras de colores rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes con pulpas, en general, de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, con areolas y abundantes gloquidios y espinas (Álvarez, B., 2007).



FIGURA N° 1.Tallo, flor y fruto de tuna

Fuente: Bioenciclopedia, 2016.

2.1.1.6. Composición química de la tuna

La composición química de la *Opuntia ficus* – indica “tuna” consiste de 85 % de agua, 14 % de azúcares y de 1 % de proteína. (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009)

TABLA N° 3. Composición químico bromatológico de la cáscara de *Opuntia ficus – indica* (L.) Miller “tuna”, en muestra fresca y muestra seca.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA FRESCA	MUESTRA SECA
Humedad (g%)	88,46	-----
pH	5,7	-----
Proteínas totales (g%)	1,08	-----
Grasas (g%)	0,19	1,51
Carbohidratos (g%)	9,28	-----
Cenizas (g%)	0,99	-----
Fibra cruda (g%)	0,22	1,69
Acidez titulable (forma de ácido cítrico)	0.053	-----
A.R.D. (g/% glucosa)	2,40	-----
A.R.T. (g/% glucosa)	3,11	-----
Energía total (Kcal/100g de muestra)	43,15	-----

Fuente: Gerencia Regional Agraria La Libertad., 2009

2.1.1.7. Descripción del fruto de tuna

El fruto es una baya ovoide, cilíndrica, de diversos colores, umbilicada en el extremo superior (cicatriz floral), pericarpio correoso, con numerosos colchones de ahuates distribuidos en tresbolillo, semillas de color variable.

El fruto del nopal, de acuerdo a su especie, varía en colores como rojo purpura, amarillo o anaranjado, con abundante pulpa carnosa y generalmente dulce (Saénz C., 2006).

El fruto se compone de tres estructuras que determinan su calidad:

a) **La cáscara**, que corresponde a la parte no comestible del fruto, por lo que a menor peso de esta, mayor será la calidad del fruto. La cáscara de los frutos varía en grosor,

siendo también variable la cantidad de pulpa entre las variedades. La cáscara es considerada subproducto, de esta es posible extraer un hidrocoloide comúnmente conocido como mucílago. Los hidrocoloides naturales pueden ser utilizados en las industrias dependiendo de las propiedades físico-químicas que posean. (Jiménez, E., 2014).

b) La pulpa se compone mayoritariamente de agua (83%). Durante la cosecha los rangos de sólidos solubles fluctúan entre 10-17 ° Brix, siendo el óptimo 13-15 ° Brix.

c) Las semillas son de forma discoidal, poseen testa reticulada y arilo lateral angosto. Se encuentran de 100 a más de 400 semillas por fruto, con diámetro de 3 a 4 mm (Cerezal y Duarte, 2005).

2.1.1.8. Mucílago de tuna

Tanto los frutos como los cladodios de tuna son una fuente interesante de importantes componentes, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, importante por sus propiedades antioxidantes. (Sáenz, C., 2004).

El mucílago de la tuna es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol. Contiene aproximadamente de 35 a 40 % de arabinosa, 20 a 25 % de galactosa y xilosa cada una, y de 7 a 8 % de ramnosa y ácido galacturónico cada uno. (Ruíz, F., 2009).

Tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como de modificar propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua, además de que es un buen gelificante, espesante, y emulsificante (Ornelas, J., 2011).

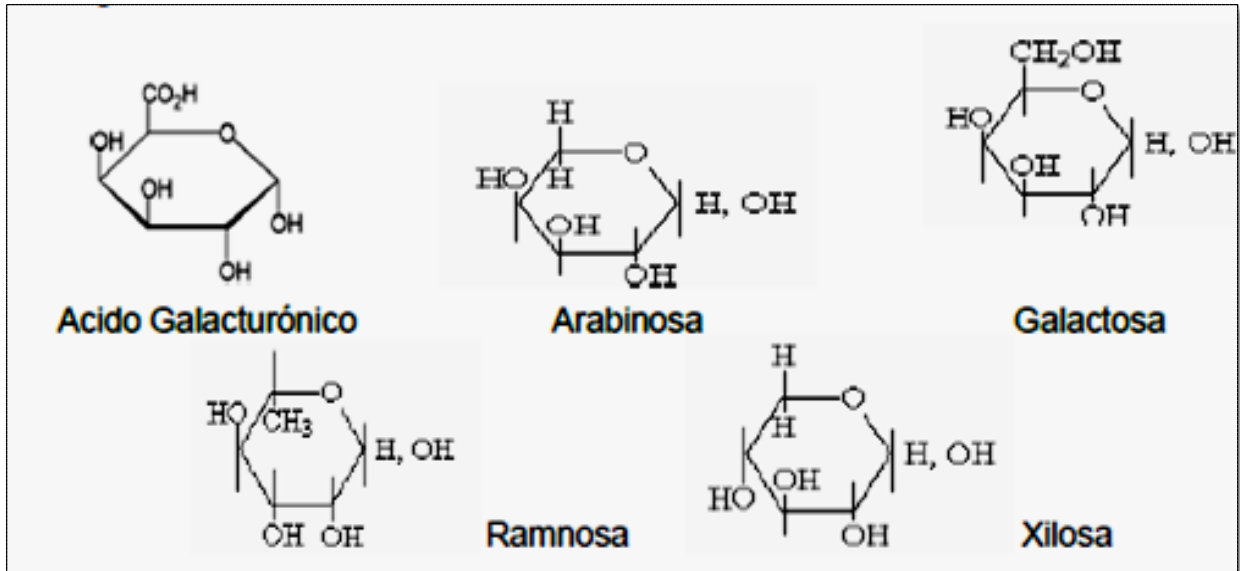


FIGURA N° 2. Composición del mucílago de tuna

Fuente: (Ornelas, J., 2011)

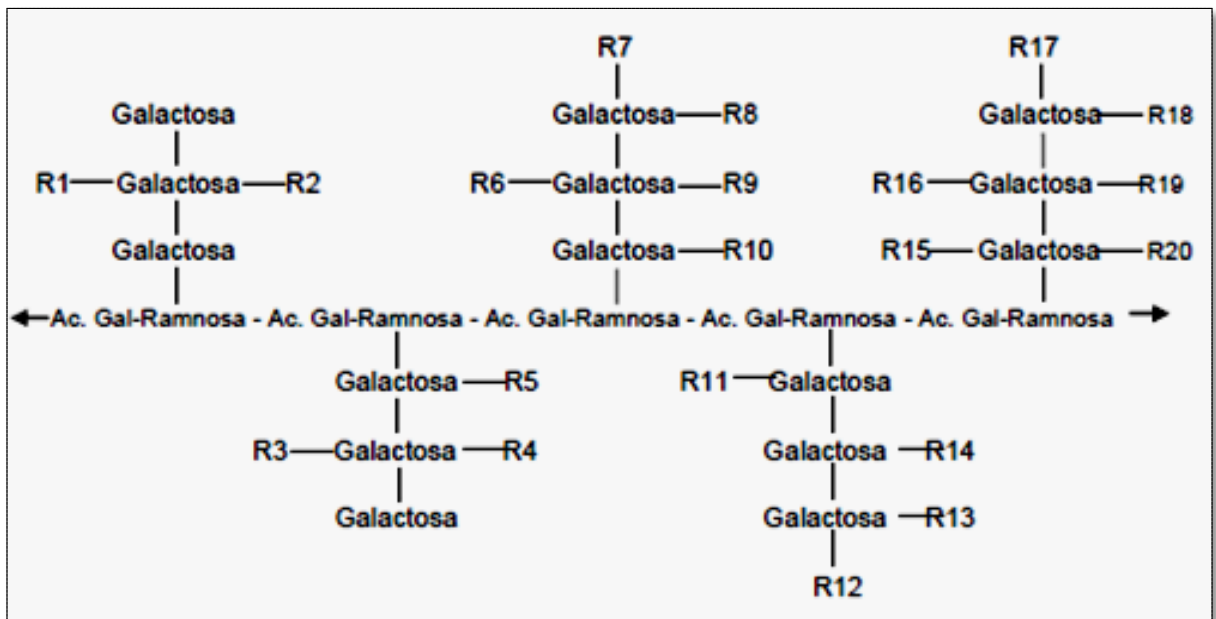


FIGURA N° 3. Estructura del mucílago de tuna

Fuente: (Ornelas, J., 2011).

TABLA N° 4. Composición química del mucílago expresado en %.

Porcentaje	Escaldado	Entero	Decolorado	Cocido
Carbohidratos	72.9 ± 1.7a	68.9 ± 0.9b	72.6 ± 0.0a	74.8 ± 0.1c
Fibra cruda	0.6 ± 0.1ab	1.3 ± 0.6a	0.1 ± 0.0b	0.1 ± 0.0b
Proteínas	4.0 ± 0.3a	3.0 ± 0.1b	3.7 ± 0.0a	3.9 ± 0.1a
Grasa	0.6 ± 0.1a	0.9 ± 0.0b	0.8 ± 0.0b	0.7 ± 0.0a
Cenizas	21.9 ± 1.8a	25.9 ± 0.7b	22.8 ± 0.1ab	20.5 ± 0.2a

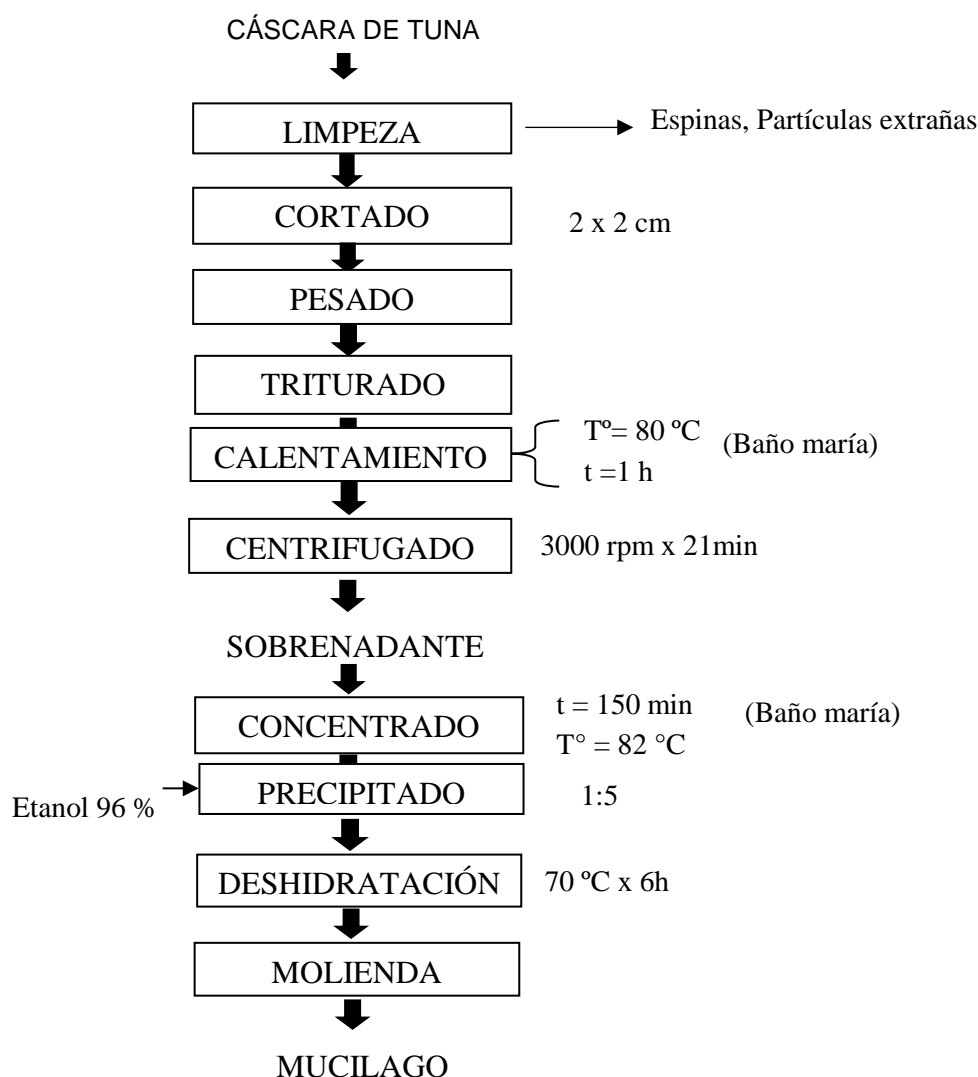
Letras iguales en la misma fila indican grupos homogéneos ($\alpha \geq 0.05$) establecido por ANOVA.

Fuente: (Abrajan, M., 2008).

2.1.1.8.1. Extracción de mucílago de cáscara de tuna

En su investigación desarrolló dos métodos de extracción de mucílagos a partir de cáscaras de tunas no escaldadas y escaldadas. En base a los resultados obtenidos, se pudo concluir que ambos mucílagos son similares en sus características físico-químicas, como también en términos microbiológicos y reológicos. Esto indica que el proceso de escaldado de las cáscaras de la tuna puede ser omitido en la producción del mucílago (Jiménez, E., 2014).

2.1.1.8.1.1. Flujograma de extracción de mucílago de cáscara de tuna



Fuente: Modificado a partir de (Rodríguez, S. et al., 2010)

2.1.2. Papa (*Solanum tuberosum*)

2.1.2.1. Origen de la Papa

La historia de la papa comienza hace unos 8000 años, cerca del lago Titicaca, que está a 3800 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera de los Andes, América del Sur, en la frontera de Bolivia y Perú. Ahí, según revela la investigación, las comunidades de cazadores y recolectores que habían poblado el sur del continente por lo menos unos 7000 años antes,

comenzaron a domesticar las plantas silvestres de la papa que se daban en abundancia en los alrededores del lago (FAO, 2008).

2.1.2.2. Definición de la papa

La papa es un alimento energético ya que es fuente de carbohidratos con 16 a 20 % de almidón, agua (72-75 %), proteína de buena calidad (2 %), vitaminas y minerales. (FAO, 2008).

2.1.2.3. Clasificación taxonómica

En la tabla 5 se aprecia la clasificación taxonómica de la papa.

TABLA N°5. Clasificación taxonómica de la papa

Reino	Plantae
División	Magnoliopsida
Clase	magnoliopyta
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Genero	Solanum
Especie	<i>Solanum tuberosum</i>

Fuente: (FAO, 2008)

En el Perú, la producción de papa ha ido incrementando durante los últimos cinco años, teniendo una producción de más de tres millones de toneladas en el año 2010. (INEI, 2011)

2.1.2.4. Descripción morfológica de la papa

La planta de la papa es de naturaleza herbácea y consta de las siguientes partes principales: el brote, el tallo, la raíz, hojas, la flor, el fruto y la semilla, el estolón y el tubérculo. (Egúsquiza, B., 2000).

2.1.2.4.1. Variedades de papa

Según MINAGRI, 2017, de las 5000 variedades de papa que se cultivan el mundo, alrededor de 4000 se encuentran en el Perú.

En el Perú existen más de tres mil variedades de papas nativas o criollas. Algunas de las papas tradicionales de Perú que destacan son las siguientes:

Blanca.-Se considera la papa más consumida en el Perú y en el mundo gracias a que tiene un uso múltiple y muy variado.

Canchan.-Su cáscara es rosada, está adaptada a las condiciones de la sierra central, y en la costa central del Perú.

Huayro.- Es de color marrón con tonalidades moradas, tiene un excelente sabor, es muy absorbente.

Negra.-Es la papa mariva, aunque también ha sido bautizada como “Tomasa negra”. Esta papa es harinosa, ligeramente dulce y de sabor muy agradable.

Amarilla: Papa de textura frágil y delicada de cáscara y pulpa amarilla.

Peruanita.-Tiene una piel bicolor y extraordinario sabor.

Para saber el contenido de almidón (Loyola, N., 2007) desarrolló análisis químico de tubérculos de papas producidos en forma convencional y orgánica, en porcentaje (%), obteniendo como resultado que la papa de cultivo convencional en promedio presenta 14.46 % de almidón, y la de cultivo orgánico presenta un promedio de 13.58 %.

2.1.2.5. Composición química de la papa

TABLA N° 6. Composición química de la papa incluida la cáscara

Nutriente	Gramos/ 100 gramos de parte comestible (incluye cáscara)
Calorías	84 kcal/g
Agua	76.00
Proteína	1.90
Grasa	0.10
Carbohidratos	19.30
Azúcares invertidos	0.11
Fibra	1.00
Ceniza	1.00

Minerales	mg/100 gramos de parte comestible (incluye cáscara)
Calcio	4.00
Fosforo	26.00
Hierro	1.10
Ácido ascórbico	20.00

Fuente: Moreno B, Nancy 1986. (Dato extraído de García y Posada, 2000).

2.1.2.6. Almidón.

El almidón se encuentra en las células vegetales bajo la forma de partículas insolubles, el gránulo de almidón es un sistema heterogéneo compuesto por amilosa y amilopectina.

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon y Grove, 1994).

Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96 % por enlaces α (1-4) y en un 4-6 % con uniones α (1-6), dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan y Hanna, 2004). El almidón de papa tiene 20 % de amilosa y 80 % de amilopectina, y los gránulos (5 – 100 μ m). (Brumovsky, L., 2014).

La mayor fuente de almidón es el maíz, seguido del trigo, papa, yuca y arroz., el almidón es utilizado para producir coberturas biodegradables para sustituir en parte o totalmente el plástico polimérico, donde la amilosa es responsable de la formación de película, se sabe que forman recubrimientos relativamente fuertes, mejorando las propiedades mecánicas, en comparación con las coberturas ricas en amilopectina, que son frágiles y no continuas (Cha y Chinnan, 2004).

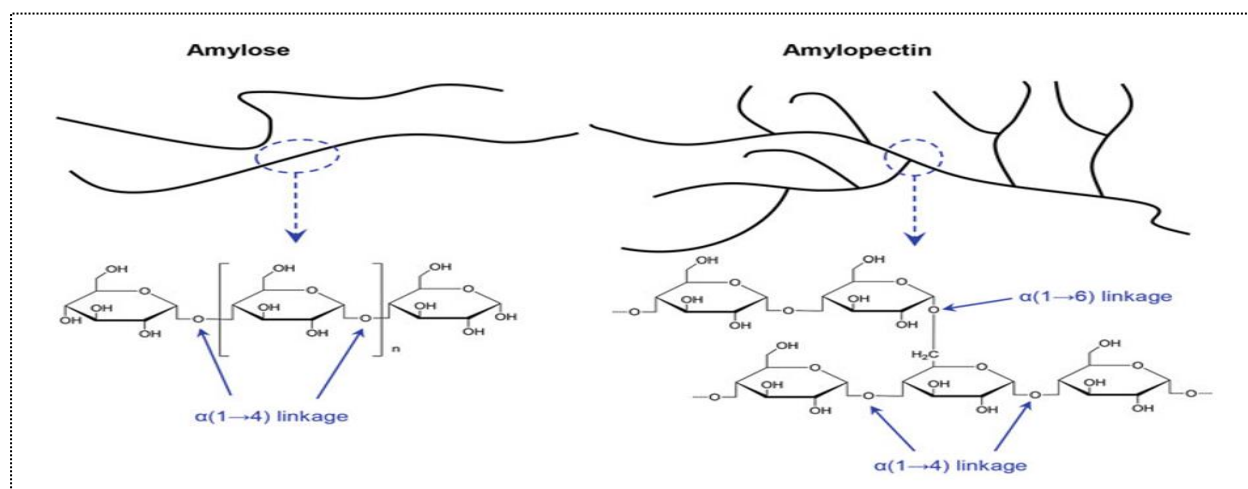


FIGURA N° 4. Estructura química del almidón de papa a). Amilosa b). Amilopectina

Fuente: Xie et al., 2014

2.1.2.6.1. Usos industriales del almidón

Según (QuimiNet, 2017) la importancia del almidón en la industria de alimentos consiste en que constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. También tiene gran utilidad en una amplia variedad de productos no alimentarios. Por ejemplo pueden ser utilizados como:

- Adhesivos: Gomas de cola de fusión, estampillas, encuadernación, sobres, etiquetas.
- Explosivos: adhesivo para la cabeza de los fósforos.
- Papel: recubrimientos de papel, pañales desechables.
- Construcción: aglutinante para tabiques de concreto, adhesivo para madera laminada.
- Metal: adhesivo de metal poroso, aglutinantes para núcleos de fundición.
- Textiles: acabado de telas, estampado.
- Cosméticos: maquillajes, cremas faciales.
- Farmacéuticos: revestimiento de cápsulas, agentes dispersantes.
- Minería: separación de minerales por flotación y sedimentación.

Otros: películas de plásticos biodegradables, baterías secas, como aglutinante de materias primas en la fabricación de aislantes de asbesto y corcho, como agente espesante en la fabricación de tintes y pinturas, aglutinante en la fabricación de crayones, en la elaboración de fibra de vidrio.

Las coberturas de almidón son transparentes o translúcidas, insípidas, inodoras, incoloras, no tóxicas y seguras, se requiere generalmente la adición de plastificante para superar la fragilidad de la películas, recubrimientos a base de almidón muestran favorablemente propiedades selectivas para oxígeno (barrera) y dióxido de carbono, haciendo una excelente alternativa para el envasado en atmósfera modificada (AM) y el ambiente de control (AC) de almacenamiento, extendiendo la vida útil del alimento (Kramer, M., 2009).

Sin embargo, la aplicación de coberturas de almidón está limitada por volverse frágiles en ambientes secos, pierden fuerza y propiedades de barrera en altas humedades relativas (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

Los polímeros de origen natural son una de las alternativas más prometedoras para sustituir a los materiales espumados derivados del petróleo, ya que estos tienen ventajas tales como biodegradabilidad, no toxicidad, bajo costo, alta disponibilidad, entre otras (Zia et al., 2015; Pornsuksomboon et al., 2016). Uno de biopolímeros con mayor potencial es el almidón, este polisacárido está constituido principalmente por dos macromoléculas llamadas amilosa y amilopectina, (Albán, P. et al., 2016).

El almidón es un polisacárido natural y el más comúnmente usado en la formulación de coberturas comestibles debido a que es barato, abundante, biodegradable y fácil de usar (Sánchez, Y., 2014). El almidón granular nativo es convertido en un material termoplástico por métodos convencionales en la presencia de plastificantes, tales como agua y glicerol (Thiré, et al, 2003 citado por Sánchez, Y. 2014). Las películas hechas de almidón se vuelven quebradizas en atmósferas secas y pierden fuerza y propiedades de barrera en humedades altas (Peterson y Stading, 2005, citado por Sánchez, Y., 2014).

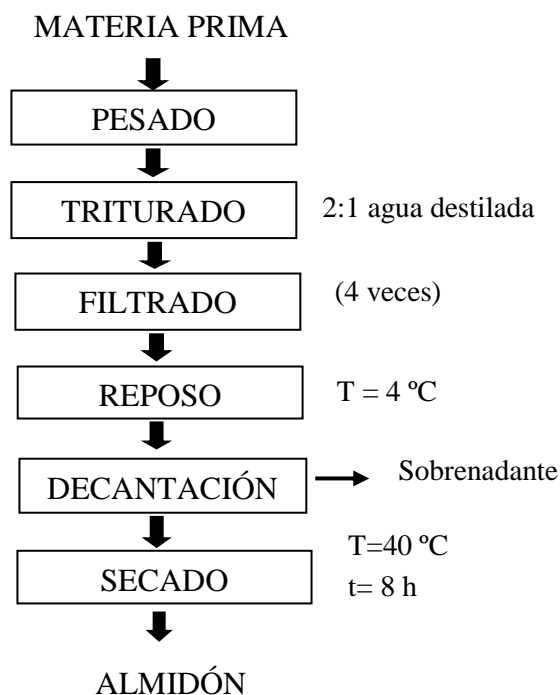
La adición de plastificantes son necesarios para dar flexibilidad y extensibilidad. Además, durante el almacenamiento a humedad relativa alta o contenido de plastificante alto, los materiales a base de almidón se encuentran en un estado gomoso que permite el desarrollo de cristalinidad por aumento de la movilidad macromolecular. En estas condiciones, la retrogradación, que involucra a la amilosa y amilopectina recrystalizan. Los cristales pueden estar actuando como puntos de entrelace físico, que genera estrés interno o grietas que daña la película, así modifica las propiedades fisicoquímicas de los materiales basados en almidón (Famá et al, 2007 citado por Sánchez, Y., 2014).

El almidón es utilizado para producir coberturas biodegradables para sustituir en parte o totalmente el plástico polimérico, donde la amilosa es responsable de la formación de película, se sabe que forman recubrimientos relativamente fuertes, mejorando las propiedades mecánicas, en comparación con las coberturas ricas en amilopectina, que son frágiles y no continuas (Cha y Chinnan, 2004 mencionado por Sánchez, Y., 2014).

2.1.2.6.2. Extracción de almidón.

El almidón de papa llamado también fécula de papa, se obtiene mediante la extracción del carbohidrato de la papa, en el cual se elimina la fibra mediante lavados con agua, posteriormente se aplica un secado cuidadoso, mismo que le permite mantener sus propiedades funcionales, (Guadrón, E., 2013).

2.1.2.6.2.1. Flujograma de extracción de almidón de cáscara de papa por método húmedo.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Guadrón, E., 2013 y Pardo, O et al., 2013)

2.1.3. Sustancias adicionales

a) Plastificante

Un plastificante es definido como una sustancia estable, no volátil y con alto punto de ebullición, la cual, cuando es adicionada a otro material, cambia las propiedades físicas o mecánicas de esa materia. La adición de un plastificante permite la obtención de una cobertura o película menos frágil, más flexible, más dócil, y eventualmente más dura y resistente (Sánchez, Y., 2014).

La incorporación de estos compuestos conlleva a disminuir las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas poliméricas, lo cual mejora la movilidad molecular de los componentes. Se cree que los grupos polares (-OH), a lo largo de las cadenas del plastificante, desarrollan puentes de hidrógeno entre el polímero y el plastificante, reemplazando así las interacciones polímero-polímero. El tamaño molecular, la configuración y el número total de los grupos hidroxilo funcionales del plastificante pueden afectar las interacciones entre el plastificante y el polímero (Aguilar, 2005 citado por Sánchez, Y., 2014).

Los plastificantes actúan debilitando las fuerzas intermoleculares entre las cadenas poliméricas adyacentes de los diferentes bio-polímeros, lo que hace que las películas seas más flexibles y con menor fuerza de tensión (Guilbert, S., 1986 citado por Marzo, I., 2010).

Debido al aumento en la movilidad de las cadenas, el plastificante puede reducir la formación de poros y grietas, mejorando la uniformidad de la cobertura, por lo que se espera que las coberturas exhiban mayor resistencia al vapor de agua, que una no plastificada, pero el carácter hidrofílico de los plastificantes como el glicerol favorece la absorción y desorción de moléculas de agua para promover la permeabilidad (García et al., 2009 citado por Sánchez, Y., 2014).

Los plastificantes hidrófilos suelen aumentar la permeabilidad al vapor de agua de las coberturas (Lin y Zhao., 2007 citado por Sánchez, Y., 2014) causando la pérdida de peso de los alimentos recubiertos (Chiumarelli et al., 2010 citado por Sánchez, Y., 2014); así pues por una parte la adición de plastificantes puede causar cambios significativos en las propiedades de barrera de las coberturas, por lo general aumentan la permeabilidad a la transmisión de oxígeno de la cobertura, permeabilidad a la humedad, a los gases (o compuestos aromáticos), disminución de la resistencia a la tracción (Oms-Oliu G., et al., 2008).

El plastificante más efectivo es aquel que más se asemeja químicamente al polímero que plastifica (Hernández-Izquierdo y Krochta., 2008). También es muy importante que el polímero y el plastificante tengan solubilidades similares con respecto al solvente utilizado para la obtención de la película. Como también es de relevada importancia que el plastificante permanezca en la matriz del recubrimiento, pues influye en la estabilidad física y mecánica de éste. (Osés, J., 2006).

Los plastificantes más utilizados en recubrimientos y películas comestibles son polioles (glicerol, sorbitol y polietilenglicol), oligosacáridos (sacarosa, glucosa y fructosa) y lípidos (ácidos grasos y monoglicéridos). El agua también actúa como plastificante en las películas hidrofílicas y su contenido se ve afectado por la humedad relativa ambiental (Gontard et al., 1993 citado por Marzo, I., 2010).

La glicerina se caracteriza por ser un compuesto muy estable y compatible con muchas sustancias. Así mismo, presenta propiedades físicas y químicas que permiten su utilización y aplicación en innumerables procesos químicos para la obtención de variados, compuestos de interés, principalmente para la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. (Molinero, L., 2012).

El glicerol o glicerina es un alcohol con tres grupos hidroxilos (OH), cuya fórmula desarrollada y semidesarrollada es el siguiente:

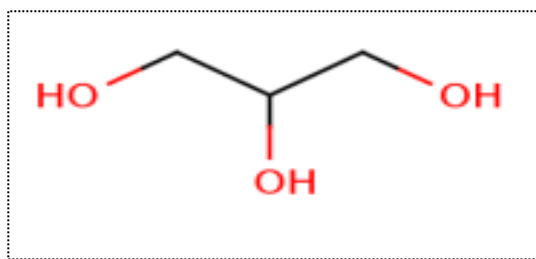


FIGURA N° 5. Estructura del glicerol (Pagliaro y Rossi, 2008).

a) Acidificantes

Son aquellos compuestos que poseen la propiedad de comunicar sus cualidades ácidas a los demás cuerpos (Marzo, I., 2010).

El vinagre permite que la estructura de la película del polímero se estabilice al neutralizar los polímeros irregulares que se encuentran presentes en el almidón.

b) Antimicrobianos

Son agentes añadidos con la intención de retardar el crecimiento de levaduras, mohos y bacterias (Marzo, I., 2010).

c) Antioxidantes

La mayoría de los productos grasos tienen sus propios antioxidantes naturales, las grasas vegetales son en general más ricas en sustancias antioxidantes que las animales (Ibáñez, F.C, et al., 2003).

Los antioxidantes pueden actuar por medio de diferentes mecanismos: Deteniendo la reacción en cadena de oxidación de las grasas, eliminando el oxígeno atrapado o disuelto en el producto, o el presente en el espacio que queda sin llenar en los envases, el denominado espacio de cabeza, eliminando las trazas de ciertos metales, como el cobre o el hierro, que facilitan la oxidación (Marzo, I., 2010).

2.1.4. Producto final

2.1.4.1. Película comestible

Una película (film) comestible es una capa preformada y delgada elaborada con material comestibles, la cual una vez elaborada puede ser colocada sobre el alimento o entre los componentes del mismo mientras un recubrimiento (coating) comestible es definido como una capa delgada de material comestible formado como un revestimiento sobre el alimento. (Sothornvit y Krochta, 2002).

Las películas comestibles son estructuras independientes que pueden envolver al alimento después de haber sido hechas mientras que los recubrimientos son los aplicados o hechos directamente en los alimentos. Ambos se localizan en la superficie del alimento o como una fina capa entre algunos componentes dentro del producto. Los recubrimientos y películas comestibles se pueden clasificar como alimento aunque la mayoría de las veces no contribuyen con un valor nutritivo significativo, por lo que se consideran más como un aditivo. Su sabor debe ser prácticamente inapreciable por el consumidor o si tiene un sabor característico, éste debe ser compatible con el alimento al que protegen (Biquet y Labuza, 1988 citado por Abraján, M., 2008).

Las películas y los recubrimientos comestibles tienen diferentes funciones entre las cuales pueden retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases (O_2 , CO_2 y etileno), retener componentes volátiles, servir de vehículo de aditivos, mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo, manteniendo las buenas propiedades mecánicas y organolépticas de los alimentos (Kester y Fennema, 1986; Marzo, I., 2010).

Existen básicamente dos tipos de biomoléculas empleadas para la elaboración de films, los hidrocoloides (proteínas o carbohidratos) y los lípidos. Generalmente ambos se usan combinadamente para contrarrestar las deficiencias que presentan cada grupo por separado. Entre

los carbohidratos estudiados para el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles se encuentran: celulosa y sus derivados, alginatos, pectinas, goma arábica, almidones y almidones modificados. En el caso de proteínas; las provenientes de cereales como maíz, trigo o avena, las lácteas, las obtenidas de animales marinos como peces y camarones, la gelatina o las proteínas de soya. Los lípidos empleados incluyen ceras, acilglicéridos y ácidos grasos (Abraján, M., 2008).

Las películas comestibles elaborados a partir de hidrocoloides pueden ser usados en aquellas aplicaciones donde el control de la migración de agua no es el objetivo. Sin embargo, presentan buenas propiedades de barrera frente al oxígeno, dióxido de carbono y los lípidos. La mayoría también poseen propiedades mecánicas deseables, útiles para mejorar la integridad estructural de productos frágiles (Greener, 1992 citado por Marzo, I., 2010).

Generalmente es necesario el uso de aditivos, como los plastificantes, para mejorar la resistencia y flexibilidad de la película, aunque éstos reducen el brillo de las mismas por interferir con los puentes de hidrógeno entre las moléculas de lípido e hidrocoloide (Tharanathan, R., 2003).

Características físicas.- Dentro de las características físicas más importantes para las películas comestibles se encuentran: color, opacidad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Roblejo, 2009, citado por Morales, M., 2011).

Características ópticas.- En el aspecto sensorial, y en sentido amplio, se pueden considerar como propiedades ópticas todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista. A las ya enunciadas pueden añadirse la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos (Roblejo, 2009 citado por Morales, M., 2011).

2.1.4.2. Métodos de obtención de películas comestibles

La eficiencia funcional de las películas y recubrimientos comestibles depende básicamente de la naturaleza de sus componentes y de la composición y estructura. Los métodos para realizar los recubrimientos son: pulverización, moldeado en cápsulas especiales, inmersión del producto en la dispersión formadora de recubrimiento o extensión de la misma sobre el producto con cepillos (Abraján, M., 2008).

La etapa de aplicación va seguida de una etapa de secado o enfriamiento (Gontard et al., 1994 citado por Abraján, M., 2008). Para cada uno de los métodos señalados existen particularidades para conseguir un recubrimiento adecuado. Así, en la inmersión hay que recambiar la solución de inmersión ya que durante el proceso hay contaminación por microorganismos, sólidos u otros contaminantes. En la pulverización hay que mantener la presión adecuada para conseguir el espesor del recubrimiento requerido (Tharanathan, R., 2003).

El método de inmersión se recomienda para productos que requieren la aplicación de varias capas de recubrimientos, tienen una superficie irregular o requieren un recubrimiento uniforme. La pulverización es adecuada si se requiere obtener un recubrimiento de espesor muy fino (Abraján, M., 2008).

2.1.4.3. Factores que influyen en la elaboración de películas comestibles

Los factores o condiciones que influyen en la formación de películas son: tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras, y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc. (Guilbert et al., 1996 y Rojas-Graü et al., 2009 citados por Quintero, C., et al., 2010).

2.1.4.4. Técnicas para la obtención y caracterización de películas comestibles

a) Mecanismos de formación de películas comestibles

En la formulación de películas comestibles y recubrimientos se necesita el uso de por lo menos un componente capaz de formar una matriz estructural con suficiente adhesividad.

La formación de una película o recubrimiento involucra uno de los siguientes procesos (Soliva-Fortuny, et al., 2001; Aguilar, 2005).

- La coacervación simple, en la que se consigue la formación de la película a partir de cambios de fase o precipitación de un hidrocoloide en disolución acuosa mediante modificación de algunas propiedades del solvente (pH y cargas eléctricas).
- La coacervación compleja, en la que dos soluciones de hidrocoloides con cargas opuestas se combinan, provocando la interacción y la precipitación de la mezcla de polímeros.
- La gelificación o coagulación térmica, mediante la cual el calentamiento de la macromolécula implica su desnaturalización seguida de gelificación o precipitación, o incluso el enfriamiento de una dispersión de hidrocoloides que provoca una transición gel-sol, por ejemplo la gelatina o el agar.
- La eliminación del disolvente, en el que la formación de la película sólida se lleva a cabo gracias a la evaporación del solvente en el que se aplica. Para obtener una película con propiedades mecánicas adecuadas es necesario ajustar correctamente la temperatura y velocidad del secado.
- La fusión y solidificación, empleada en películas de naturaleza de lípidos consiste en el calentamiento de la sustancia empleada por encima de su punto de fusión y su posterior enfriamiento (Morales, M., 2011).

b) Descripción de características físicas de las películas comestibles

b.1) Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se trata del análisis normalizado de los alimentos que se realiza con los sentidos. Se suele denominar "normalizado" con el objeto de disminuir la subjetividad que pueden dar la evaluación mediante los sentidos (Montenegro, G., et al., 2008)

En el aspecto sensorial y en sentido amplio, se pueden considerar como propiedades ópticas todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista, como la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos (Roblejo, J., 2009).

b.2) Medición del espesor

Se denomina espesor al grosor de un elemento, la idea de espesor también puede vincularse a la densidad de una sustancia (Wordreference, 2017).

A medida que el espesor de las películas aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero (Park y Chinnan, 1995, citado por Morales., 2011).

b.3) Determinación de la densidad

La densidad es masa sobre unidad de volumen. Para la obtención indirecta de la densidad, se miden la masa y el volumen por separado y posteriormente se calcula la densidad.

La masa se mide habitualmente con una balanza, mientras que el volumen puede medirse determinando la forma del objeto y midiendo las dimensiones apropiadas o mediante el desplazamiento de un líquido, entre otros métodos (Oregel-Zamudio et al., 2016).

$$Densidad = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (1)$$

b.4) Determinación de la humedad

El contenido de humedad en un alimento es, frecuentemente, un índice de estabilidad del producto.

La determinación de humedad puede ser el análisis más importante llevado a cabo en un producto alimentario y, sin embargo, puede ser el análisis del que es más difícil obtener resultados exactos y precisos, se calcula por diferencia de pes. (Oregel-Zamudio et al., 2016).

$$\%HUMEDAD = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (2)$$

b.5) Solubilidad en agua

La solubilidad es una medida de la integridad de los recubrimientos en un medio acuoso. Generalmente, mayor solubilidad indica menor resistencia al agua. Esta propiedad afecta la futura aplicación de los recubrimientos (Roblejo, J., 2009, citado por Abrajan, M., 2008).

$$\% SOLUBILIDAD = \frac{\text{peso seco} - \text{peso final}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad (3)$$

b.6) Determinación de opacidad

La opacidad de un material es la inhabilidad de transmitir luz, teniendo una transmitancia de luz de cero (0), con materiales en capa fina, la opacidad depende del espesor, también se entiende la condición en la cual una materia impide parcial o totalmente el paso del haz de luz. (SEMARNAT, 2006)

Un material presenta opacidad cuando no deja pasar fácilmente la luz. La opacidad es una propiedad óptica de la materia, que tiene diversos grados y propiedades (Oregel-Zamudio et al., 2016).

$$OPACIDAD = \frac{\text{Absorbancia}}{\text{Espesor}} \quad (4)$$

b.7) Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua, es una medida indirecta de los enlaces hidrofóbicos proteína-grasa y su capacidad de enlazarse con compuestos lipofílicos (Briones, J., 2011).

La capacidad de retención de agua es un parámetro físico-químico importante por su contribución a la calidad de películas comestibles, está relacionada con la textura, y firmeza de la película comestible. (Valderrama, N., et al., 2016).

$$\% CRA = \frac{\text{peso final} - \text{peso inicial}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (5)$$

b.8) Determinación de la interacción de la matriz polimérica (FTIR)

La radiación electromagnética es una forma de energía que se propaga como ondas y puede ser subdividida en regiones de longitudes de onda características. Asimismo, puede ser considerada también como un flujo de partículas denominadas fotones (quanto). Cada fotón contiene determinada energía cuya magnitud es proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda. La longitud de onda (λ) es generalmente especificada en nanómetros, nm (10^{-9} metros) y en algunos casos en micrómetros, μm (10^{-6} metros). En caso del infrarrojo la radiación electromagnética puede ser también descrita en términos de número de onda y expresada en cm^{-1} (Günzler H. y Hans-Ulrich G., 2002).

La espectrofotometría infrarroja es un método de medida de la absorción de la radiación en un rango de longitudes de onda, cuando ésta pasa a través de una capa delgada de sustancia.

Cuando diferentes polímeros son compatibles, las interacciones intermoleculares se llevan a cabo, de tal forma que un estudio de espectroscopia de IR de una mezcla, es útil para entender la compatibilidad de los polímeros.

Los espectrofotómetros utilizados para la obtención del infrarrojo medio y cercano consisten de una fuente de luz, monocromador o interferómetro y detector, los cuales permiten la obtención de espectros en la región comprendida entre 780 nm a 25000 nm (12800 cm^{-1} a 400 cm^{-1}). Actualmente, los espectrofotómetros de infrarrojo utilizan un interferómetro en lugar de un monocromador en cuyo caso la radiación policromática incide sobre la muestra y los espectros son obtenidos en el dominio de la frecuencia con ayuda de la transformada de Fourier (Skoog, D. y West D.M., 1985).

Este equipo dotado de una sonda con fibra óptica permite el análisis directo de la superficie del objeto de estudio (Ibargüen, A. y Pinzón M.I., 2015).

Los fotones de radiación infrarroja son absorbidos por los enlaces de una molécula pasando a niveles vibracionales superiores. Cada tipo de enlace absorbe radiación infrarroja a una frecuencia distinta, lo que permite determinar qué tipo de grupos funcionales posee la molécula en estudio. Los espectrofotómetros de infrarrojo trabajan en el infrarrojo medio y hacen un barrido desde los 4000 cm^{-1} hasta los 400 cm^{-1} . (Fernández, G., 2017).

b.9) Determinación de la permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él, una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de cuatro factores básicos:

- La estructura del material: porosidad efectiva (huecos interconectados), Tamaño de los poros, sección y espesor de la película.
- La densidad del fluido considerado, que puede ser afectada por la temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido.

-Tiempo de exposición.

La permeabilidad al vapor de agua, es la cantidad de vapor (gramos) que pasa por unidad de superficie (m^2) de un material de espesor unitario (mm) por unidad de tiempo (h) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria (kPa) (Carballo, E y Martínez, E., 2010)

Métodos de evaluación de la permeabilidad al vapor de agua

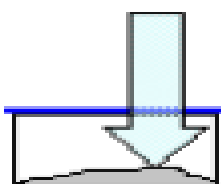
Carballo, E y Martínez, E., 2010 menciona que estándar ASTM internacional (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones más grandes del mundo para el desarrollo voluntario de normas, una fuente confiable de normas técnicas para materiales, productos, sistemas, y servicios. Conocidas por su alta calidad técnica y relevancia en el mercado, las normas ASTM desempeñan un importante papel en la infraestructura de la información que orienta el diseño, la fabricación y el comercio en la economía mundial. Las normas ASTM son documentos que sirven para formalizar los procedimientos, reglas o directrices a seguir por la industria. Un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de ASTM Internacional, y que cumpla los requisitos de aprobación de los procedimientos y las normas ASTM.

ASTM E 96/ E 96M-05 Dentro de la gran recopilación de métodos estándares ASTM, encontramos una de utilidad para determinar la permeabilidad al vapor de agua, el objetivo de las pruebas en esta norma es obtener, por medio de aparatos simples, fiables valores de transferencia de vapor de agua a través de materiales permeables y semipermeables, expresada en unidades adecuadas. Estos valores son para el uso en el diseño, fabricación y comercialización de materiales. Un valor de permeabilidad obtenido en virtud de una serie de condiciones de prueba no puede indicar el valor de un conjunto diferente de condiciones. Por esta razón, las condiciones de prueba deben seleccionarse según las circunstancias de uso. Estos métodos de ensayo se refieren a la determinación de la transmisión de vapor de agua (WVT) de los materiales

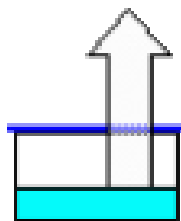
a través de los cuales el paso del vapor de agua puede ser de importancia, tales como papel, películas de plástico, otros materiales laminados, yeso y productos de yeso, productos de madera, y plásticos.

Básicamente la norma dispone de dos métodos, los cuales se explicarán posteriormente, el método desecante y el método de agua, para la medición de permeabilidad, y dentro de este último encontramos dos variaciones en las condiciones de uso, una que moja una cara de la película y la otra que no moja ninguna de las caras de la película. El método debe ser seleccionado según los enfoques de las condiciones de uso. Las pruebas bajo el método ASTM-E96 para la medición de la permeabilidad al vapor de agua son realizadas con una película de muestra, la cual se emplea como cierre de un tubo de ensayos, que contiene desecante o agua, luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. La unidad de prueba se pesa periódicamente y el peso se representa gráficamente como una función de tiempo. La transmisión de vapor de agua se toma como la pendiente de la curva (en la región lineal) dividida por el área de apertura y, para obtener finalmente el valor que representa la permeabilidad al vapor de agua, es necesario hacer una serie de cálculos, los cuales se detallan en el procesamiento de la información en el diseño metodológico.

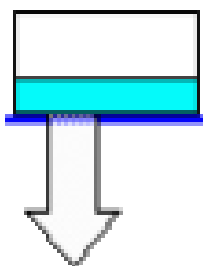
- División del método ASTM E96/ E 96M-05 ASTM E96/ E 96M-05/Desecante, la muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo de ensayos que contiene un desecante en el fondo y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra de la atmósfera controlada en el desecante.



- ASTM-E96/ E 96M-05/Agua, la muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo de ensayos que contiene agua y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada. Se pesa periódicamente para determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra, desde el agua hacia la atmósfera controlada.



- ASTM-E96/ E 96M-05/Agua invertida, el procedimiento es igual al método de agua, salvo que en la prueba se coloca el tubo invertido para que el agua esté en contacto con la muestra.



Para determinar la permeabilidad al vapor de agua (PVA) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$VTVA = \frac{J}{t-A} \quad (6)$$

$$PVA = \frac{VTVA}{Pw1-Pw2} \times L \quad (7)$$

Donde:

VTVA: Velocidad de transmisión de vapor de agua, $g \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$

J: Pendiente de la pérdida de peso en el tramo lineal, $g \text{ s}^{-1}$

A: Área efectiva para la transmisión del vapor de agua, m^2

Pw₁: Presión parcial del vapor de agua en la superficie de la película (cara orientada hacia el interior de la celda), Pa.

Pw₂: Presión parcial del vapor de agua en la superficie de la película (cara orientada hacia el exterior de la celda), Pa.

L: Espesor del film, m

El método ASTM establece que la resistencia al transporte de agua, a través del espacio de aire entre la superficie del agua y el film es despreciable ($P_{w0}=P_{w1}$). Sin embargo, para films hidrofílicos, esto no se cumple y puede inducir a importantes errores en la permeabilidad calculada.

Así para considerar el efecto de la capa estanca de aire en las medidas de PVA, los valores de P_{w1} fueron calculados aplicando las ecuaciones N° 8 (Chuta-Tintaya y Cornejo-Soto., 2017).

$$P_{w1} = P_t - (P_t - P_{w0})e^{\left(\frac{Nwhi}{CD}\right)} \quad (8)$$

$$Nw = (6,43 \cdot 10^{-11}) \cdot VTVA \quad (9)$$

$$C = \frac{P_t}{R \cdot T} \quad (10)$$

$$D = 0,26 \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1.8} \quad (11)$$

Dónde:

P_t: Presión total del sistema, Pa

P_{w0}: Presión de vapor saturado del agua a la temperatura de trabajo, Pa

Nw: Flujo de agua en la película, $\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

hi: Distancia entre el agua destilada y la película, m

C: Concentración molar total de aire y vapor de agua, $\text{g}\cdot\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}$

D: Difusividad del vapor de agua en el aire, $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$

T: Temperatura de trabajo, K

R: Constante universal de los gases, $\text{Pa}\cdot\text{cm}^3\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

2.1.4.5. Equipos para obtención y caracterización de películas comestibles

Espectrofotometro de Infrarrojo: Son aparatos que permiten barrer toda la región IR y, en particular, el IR medio que es la de mayor interés. Actualmente los espectrofotómetros IR-TF han desplazado a espectrofotómetros con monocromador (dispersivos).

La porción infrarroja del espectro electromagnético se divide en tres regiones; el infrarrojo cercano, medio y lejano, así nombrados por su relación con el espectro visible. (Rojo, F., 2004).

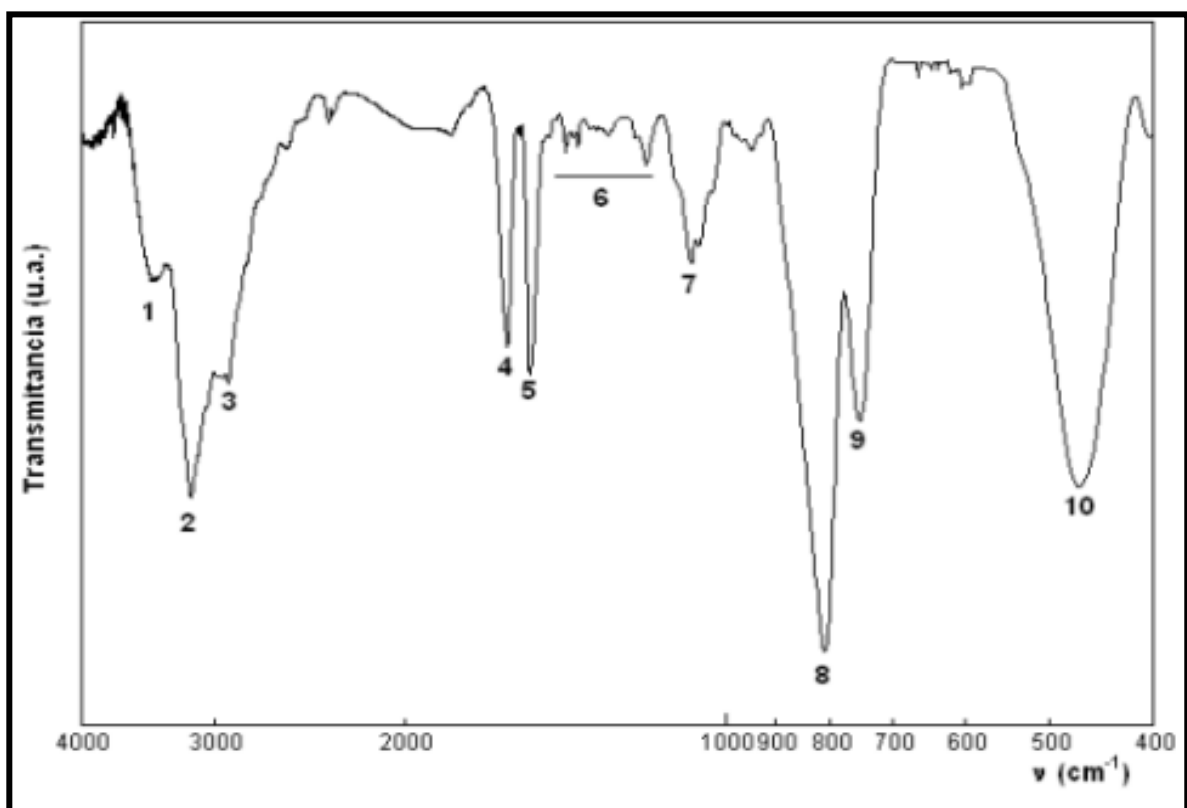


FIGURA N° 6. Regiones básicas de un espectro de infrarrojo

Fuente: (Rubinson K.A., Rubinson, J.F., 2000)

TABLA N° 7. Posición de las bandas de absorción observadas en el espectro de la fig. 6.

Número	Frecuencia (cm ⁻¹)	Enlace	Tipo de vibración
1	3450	O-H	Tensión
2	3170	N-H	Tensión
3	2950	C-H	Tensión
4	1610	O-H	Flexión
5	1535	N-H	Flexión
6	1420,1295,1200	C-H	Flexión
7	1085	C-N	Flexión
8	820	As-O	Tensión (simétrica)
9	760	As-O	Tensión anti simétrica
10	470	As-O	Flexión

Fuente: (Rubinson K.A., Rubinson J.F., 2000)

El espectrofotómetro de infrarrojo FTIR, permite la identificación de grupos funcionales de materiales orgánicos, pinturas y determinadas estructuras de muestras sólidas y líquidas por transmisión espectroscópica de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), en el rango espectral infrarrojo medio comprendido entre 400 y 4000 cm⁻¹. Dispone de un accesorio para trabajar en reflectancia total atenuada (ATR) (Instrumentos de laboratorio (2018))

Desecador: Un desecador es un gran recipiente de vidrio con tapa que se adapta ajustadamente. El borde de vidrio es esmerilado y su tapa permite que el recipiente este herméticamente cerrado. El propósito de un desecador es eliminar la humedad de una sustancia, o proteger la sustancia de la humedad (TP-laboratorio químico, 2017)

Balanza analítica: Balanza es un instrumento que sirve para medir la masa. La balanza analítica es una clase de balanza utilizada principalmente para medir pequeñas masas. Este tipo

de balanza es uno de los instrumentos de medida más usados en laboratorio y de la cual dependen básicamente todos los resultados analíticos (TP-laboratorio químico, 2017).

Centrífuga: En el laboratorio las centrífugas se usan generalmente en procesos como la separación por sedimentación de los componentes sólidos de los líquidos biológicos y, en particular, en la separación de los componentes de la sangre: Glóbulos rojos, glóbulos blancos, plasma y plaquetas, entre otros, y para la realización de múltiples pruebas y tratamientos (Instrumentos de laboratorio, 2018).

Espectrofotómetro: El espectrofotómetro es un equipo que utiliza las propiedades de la luz y su interacción con otras sustancias, para determinar la naturaleza de las mismas. En general, la luz de una lámpara de características especiales es guiada a través de un dispositivo que selecciona y separa luz de una determinada longitud de onda y la hace pasar por una muestra. La intensidad de la luz que sale de la muestra es captada y comparada con la intensidad de la luz que incidió en la muestra y a partir de esto se calcula la transmitancia de la muestra, que depende de factores como la concentración de la sustancia (Instrumentos de laboratorios, 2018)

Estufa al vacío: La estufa de secado es un equipo que se utiliza para secar y esterilizar recipientes de vidrio y metal en el laboratorio. Se identifica también con el nombre de Horno de secado. Hay dos tipos de estufa, las que operan mediante convección natural y las que operan mediante convección forzada. Las estufas operan, por lo general entre la temperatura ambiente y los 350°C (Instrumento de laboratorio, 2018).

PHmetro: Este instrumento tiene un sensor el cual es utilizado para medir el PH de una disolución. Quiere decir que junto con los electrodos, el voltímetro será sumergido en la sustancia haciendo que genere una corriente eléctrica, es así que la concentración de iones de hidrógenos presenta la solución en la corriente eléctrica. Esto se da por medio de la membrana

de vidrio que tiene el pH metro la cual obtiene la sensibilidad y selectividad de las dos soluciones de concentración (Instrumentos de laboratorio, 2018).

Agitador magnético: Un agitador magnético consiste de una pequeña barra magnética (llamada barra de agitación) que normalmente está cubierta por una capa de plástico (usualmente teflón) y una placa debajo de la que se encuentra un imán rotatorio o una serie de electroimanes dispuestos en forma circular a fin de crear un campo magnético (Instrumentos de laboratorio, 2018).

III. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Materia prima

Para la experimentación, se utilizaron muestras de cáscara de tuna y cáscara de papa, adquiridas en el mercado las Américas de la provincia y distrito de Abancay departamento Apurímac, de los cuales se obtendrá mucílago y almidón respectivamente, mediante los métodos indicados en el marco teórico.

3.2. Lugar de desarrollo

El presente trabajo se desarrolló en los laboratorios de Química Orgánica y Análisis Instrumental del cuarto nivel de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, sede Abancay.

3.3. Equipos, materiales y reactivos

TABLA N° 8. Equipos y materiales

Equipos	Modelo	N° Serie	Error
Estufa (MEMMERT).	UN 30	B113.1473	$\pm 2^{\circ} \text{C}$
Tamizador eléctrico (RETSCH)	AS 200	1215030206I	± 0.005
Balanza Analítica (SARTORIUS)	ENTRIS224-1S	32508274	± 0.0001
Balanza digital (OHAUS) con pesa de calibración de 200 gr.	TRAVELER TA302	B422644181	± 0.02
Potenciómetro (SI ANALYTICS)	LAB 850	14520008	± 0.01
Espectrofotómetro UV-Vis (THERMOFISHER SCIENTIFIC). Incluye cubetas x 100 unidades.	G10S UV-VIS	2L5S3114201	-----
Cable USB (01). Dos CDs y guía.			

Espectrofotómetro (THERMOCIENTIFIC) medio y cercano, cada uno con lámpara y accesorios	infrarrojo	NICOLTET IS 10	-----	-----
Centrifuga		C2006	238003	-----
Cocinilla Eléctrica (CAT)		H3	60223-000082	-----
Licuadaora (OSTER)		----	-----	-----
Vernier digital		Truper	-----	±0.0001
Refractómetro (OAU)		-----	-----	± 0.02

TABLA N° 9. Materiales

Material	Capacidad	Error
Termómetro de mercurio	-10 a 110 °C	±0.2°C
Vaso de precipitado	80 mL, 250 mL	±0.05
Probeta	25 mL, 50 mL, 100 mL	±0.5 mL, ±1 mL
Matraz Erlenmeyer	125 mL	±0.05
Piseta	500 mL	-----
Pipeta	10 mL	±0.05 mL
Placas Petri (DURAND)	20 mL	-----
Tubos de ensayo	10 mL	-----
Gradilla para tubos de ensayo	12 tubos	-----
Desecador de vidrio (H) de 200 mm		-----
Espátula de acero inoxidable pequeño		-----
Mortero de porcelana pequeño		-----
Bagueta de vidrio		-----

Cuchillo	-----
Coladores	
Propipeta	-----
Marcadores	-----

TABLA N° 10. Materias primas y reactivos

Reactivos	Materia prima
Agua destilada	Mucílago líquido de cáscara de tuna
Alcohol 96 %	Almidón de cáscara de papa
Vinagre 5 % de acidez	
Glicerina grado alimentario	

3.4. Obtención de materias primas

3.4.1. Descripción del proceso de obtención de almidón de cáscara de papa y mucílago de cáscara de tuna

3.4.1.1. Descripción del proceso de obtención de almidón de cáscara de papa.

Para la obtención del almidón de cáscara de papa, se realizó el siguiente procedimiento:

Selección: Se limpiaron y seleccionaron las cáscaras de papa que tenían un espesor entre 2, 3 y 5 mm, se eliminó todo material extraño como tierra, piedras y otros materiales, así mismo se descartaron las que se encontraban en mal estado.

Lavado: Esta operación se realizó en un colador a chorro de agua potable con la finalidad de eliminar restos de tierra y posteriormente desinfectar la cáscara de papa con solución al 2 % de hipoclorito de sodio.

Pesado: Esta operación se realizó con la finalidad de conocer la cantidad de cáscara de papa a utilizar expresada en kg.

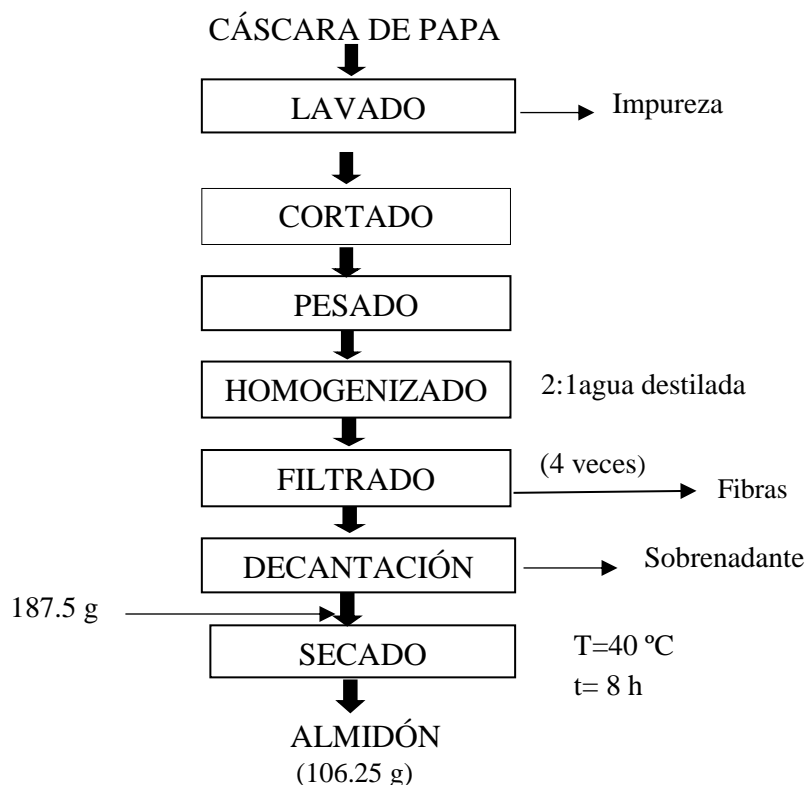
Triturado: Esta operación se desarrolló con la ayuda de una licuadora, a la cual se ha introducido cascara de papa cortada de 2 x 2 cm aproximadamente, haciendo uso de la relación de cáscara de papa y agua destilada (1: 2).

Filtrado: Se filtra con la finalidad de separar el almidón de la fibra celulósica, haciendo uso de coladores de malla media y fina. Esta operación se repitió cuatro veces mediante lavados con agua destilada.

Decantación: Esta operación se realizó con la finalidad de separar el líquido (sobrenadante) del almidón.

Secado: El almidón obtenido se secó en una a una temperatura de 40 °C por 8 horas para posteriormente este producto se almacene.

Flujograma de obtención de almidón de cáscara de papa.



3.4.1.2. Descripción del proceso de obtención del mucílago de cáscara de tuna

Limpieza: Las cáscaras de tuna, adquiridas en el mercado se sometieron a ser limpiados de las espinas del pericarpio a chorro de agua potable.

Pesado: En esta operación se utilizó una balanza digital para pesar la cantidad de cáscara de tuna que se utilizó para extraer el mucílago.

Cortado: Las cáscaras de tuna se cortaron con un cuchillo en dimensiones de 2 x 2 cm para facilitar el homogenizado.

Homogenizado: Esta operación se realizó en una licuadora, para hacer que el mucílago de la cáscara de tuna se desprenda de la fibra adicionando agua destilada en una relación de (1:1).

Filtrado: Se filtró en dos coladores de malla media y otra de malla fina para eliminar la fibra y obtener el líquido viscoso que contenía el mucílago.

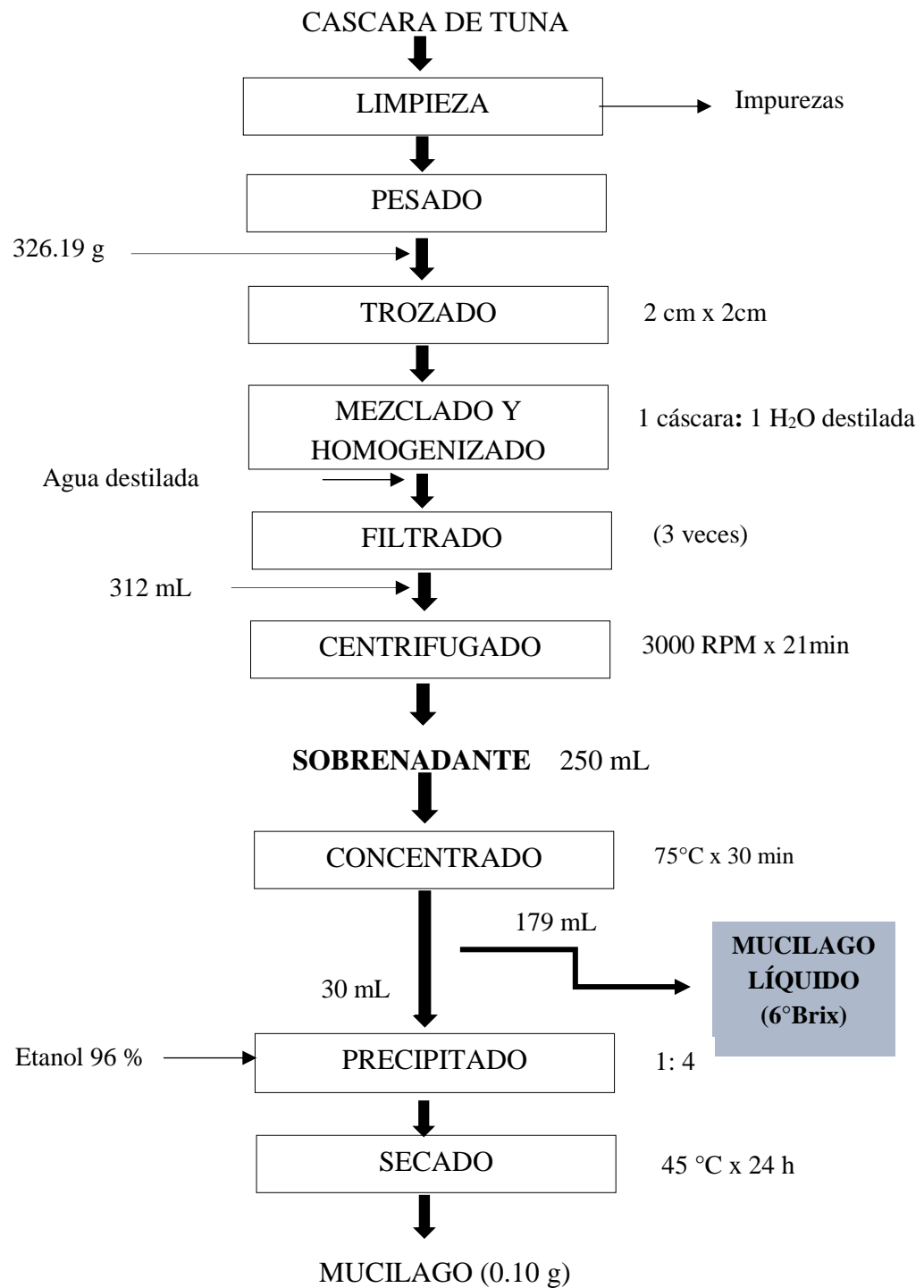
Centrifugado: El líquido viscoso se adicionó en los tubos de a 13 mL para centrifugar a 3000 RPM por 21 minutos.

Concentrado: Después de centrifugar el sobrenadante se vació con mucho cuidado en un vaso de precipitado de 250 mL. Este líquido sobrenadante se concentró a baño maría (con la finalidad de mantener la temperatura constante en todo el sistema) a una temperatura de 75 °C por 30 minutos.

Precipitado: En este proceso se adicionó alcohol etílico al 96 % al precipitado en una relación de (4:1) respectivamente, y dejar reposar por 5 minutos hasta obtener el mucílago precipitado en su totalidad.

Secado: El precipitado se llevó a secar en una estufa a temperatura de 45 °C por 24 horas.

Flujograma de obtención de mucílago de cáscara de tuna.



3.5. Descripción de la obtención de la película comestible.

A continuación se describe el procedimiento general a seguir, para la obtención de películas comestibles de las diferentes formulaciones mencionadas en el diseño experimental.

Recepción: Las materias primas (mucílago líquido de cáscara de tuna y almidón de cascara de papa) y los reactivos (glicerina y vinagre) se evaluaron:

TABLA N° 11. Característica organoléptica y física de sustancias utilizadas.

Muestra	Color	T. partícula	% H	°Brix	pH	Procedencia
Mucílago líquido	Anaranjado purpura	-----	-----	6 °Brix	5.0	Lab. EPIA
Almidón	Blanco	150 µm	11 %	-----	6.7	Lab. EPIA
Glicerina líquida de uso común	Translúcido	-----	-----	-----	8.6	BV.S.A.C
Vinagre blanco de grado alimentario	Translúcido	-----	-----	-----	2.4	ERZA S.A.C

Pesado: Las materias primas se pesaron en una balanza analítica, la cantidad a pesar fue determinada por la formulación ya establecida en la tabla 14.

Mezclado y homogenizado: En esta operación se mezcla en un vaso de precipitado de 80 mL el almidón el mucilago líquido adicionándole reactivos como glicerina y vinagre seguidamente se homogenizaron con la ayuda de una varilla de vidrio durante 5 min.

Tratamiento térmico: Se prepara un sistema de baño maría en un vaso de precipitado de 250 mL hasta alcanzar una temperatura de 82 °C. Sobre esta agua calentada se introdujo la mezcla homogenizada que se agito por un minuto.

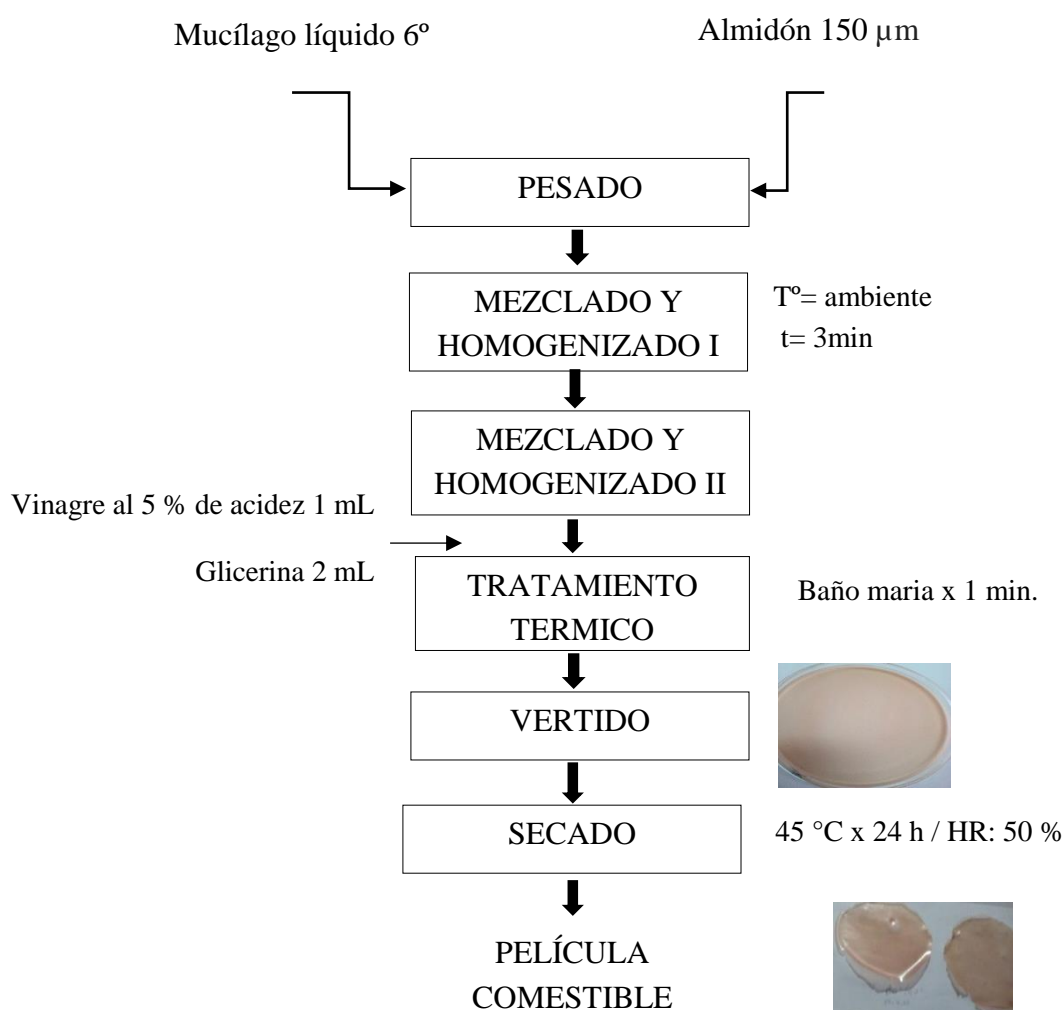
Vertido: En placas petri rotuladas se vertió la mezcla viscosa y se homogenizó mediante un movimiento de vaivén de la placa.

Secado: Obtenida la mezcla pastosa en las placas se llevó a secar en una estufa a 45 °C por 24 horas a una humedad relativa de 50 %.

Almacenado: Después de despegar las películas comestibles de las placas petri de forma cuidadosa, estas se guardaron en un plástico de polietileno hermético para evitar absorba humedad del ambiente.

Nota: (Si se desea disminuir la viscosidad se puede adicionar bicarbonato).

Flujograma de elaboración de película comestible.



3.6. Caracterización de la película comestible.

3.6.1. Determinación del espesor

El espesor se determinó mediante la técnica indicada por (Oregel-Zamudio y et al., 2016).

El espesor de las películas se determinó con un vernier automático, se hicieron 10 mediciones en diferentes puntos de las 18 muestras seleccionadas y se utilizó la media para calcular sus propiedades fisicoquímicas.

3.6.2. Determinación de densidad

La densidad, se determinó de acuerdo a la metodología reportada por (Oregel-Zamudio y et al., 2016). Se recortaron 10 cuadros de 2 cm², con un micrómetro se determinó el largo ancho y alto de cada cuadro para determinar el volumen, con una balanza analítica se obtuvo la masa de cada cuadro y posteriormente se calculó la densidad. Para calcular se utilizó la ecuación 1 de la página 27 del marco teórico.

3.6.3. Determinación de la humedad

La humedad de las muestras se determinó por diferencia de peso, según la técnica (Oregel-Zamudio et al., 2016). Se usaron cuadrados recortados de películas comestibles de 2 x 2 cm. Se colocaron en contenedores de papel aluminio previamente secados. La humedad de las muestras se determinó por diferencia de peso. Se utilizó una estufa de convección natural a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 24 h, se comprobó con peso constante de la muestra. Para calcular el porcentaje de humedad se utilizó la ecuación 2 de la página 28 del marco teórico.

3.6.4. Solubilidad en agua

El porcentaje de solubilidad, se determinó de acuerdo a la metodología reportada por (Oregel-Zamudio, et al., 2016). Se utilizaron cuadros de películas previamente secas libres de humedad. Se colocaron 80 mL de agua destilada en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con un

cuadrado de película comestible de 2 x 2 cm. Se mantuvo durante 10 min en agitación sobre una parrilla con un agitador magnético hexagonal a 25 °C. Posteriormente se recuperó la película y se colocó en una estufa a temperatura de 60 °C durante 24 horas, hasta obtener peso constante, el porcentaje de solubilidad se calculó mediante la ecuación 3 de la página 28 del marco teórico.

3.6.5. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua, se evaluó de acuerdo a la metodología reportada por (Valderrama, N, et al., 2016). Las películas cortadas en círculos de 2 centímetros de diámetro (n= 3) se pesaron y posteriormente se sumergieron en agua durante 10 minutos. Seguidamente, se eliminó el exceso de agua en la superficie de las películas con papel filtro y se pesó cada muestra. La capacidad de retención de agua se calcula mediante la ecuación 5 de la página 29 del marco teórico.

3.6.6. Determinación de la permeabilidad

La permeabilidad se determinó teniendo en cuenta la norma ASTM-E96/ E 96M-05/Agua descrito por Anchundia, K. et al., 2016) con algunas modificaciones: La muestra de prueba previamente pesada se selló en la boca abierta de un tubo de ensayo que contiene 6 ml de agua y luego se colocó el montaje en una atmósfera controlada a condiciones controladas de 24 °C por 24 horas y se procedió a registrar tres pesos cada 8 horas para obtener la pendiente de variabilidad de peso por unidad de tiempo, de esta forma determinar la tasa de vapor de agua de circulación a través de la muestra, desde el agua hacia la atmósfera controlada. La permeabilidad al vapor de agua se calculó mediante la ecuación N° 7 de la página 33 del marco teórico.

3.5.7. Determinación de opacidad

La opacidad, se determinó de acuerdo a la metodología reportada por (Oregel-Zamudio et al., 2016). Se tomó una porción de películas que se cargó sobre una mica para analizarlo y

hacer la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm. Se calculó mediante la ecuación 4 de la página 28 del marco teórico.

3.6.8. Determinación Interacción estructural mediante FTIR

Se analizaron los espectros infrarrojos de las películas elaboradas, utilizando el espectrofotómetro infrarrojo FTIR, se trabajó en la región medio entre 400 y 4000 cm^{-1} .

3.7. Diseño experimental

El diseño de la investigación sobre la elaboración de películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa, se realizó en 3 etapas:

1ra Etapa: Acondicionamiento de la materia prima

2da Etapa: Elaboración de las películas comestibles

3ra Etapa: Caracterización física de películas comestibles

En la segunda etapa se realizó un diseño experimental multivariado de tipo central compuesto, que permitió determinar 9 formulaciones (Tabla 11), de las cuales 3 no permitieron obtener una película comestible como tal, por lo que se tomó en cuenta solo 6 tratamientos a los que se les denominó X₁, X₂, X₃, X₄, X₅ y X₆ (Tabla 13) y para reducir el grado de incertidumbre durante la experimentación se realizaron tres repeticiones para cada una de las formulaciones, haciendo un total de 18 observaciones.

TABLA N° 12. Diseño experimental de formulaciones para la obtención de películas comestibles

Tratamientos	Mucílago (mL)	Almidón (g)	Glicerina (mL)	Vinagre (mL)
01	20	2	2	1
02	15	2	2	1
03	10	1	2	1
04	10	2	2	1
05	15	1.5	2	1
06	10	1.5	2	1
07	15	1	2	1
08	20	1	2	1
09	20	1.5	2	1

Para la tercera etapa (análisis de las características físicas de películas comestibles) se utilizó las 3 repeticiones.

Media aritmética (\bar{X})	Varianza(S^2)	Desviación típica
$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$	$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}$	$S = \sqrt{\frac{\sum_i (Xi - \bar{X})^2}{n}}$

El análisis estadístico se realizó a las variables respuesta: espesor, densidad, contenido de humedad, capacidad de retención de agua, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, opacidad. Para ver el efecto de los factores sobre las variables de respuesta, los resultados fueron analizados mediante un Análisis de Varianza y si es que se encontraran diferencias se realizó una Comparación de Medias por Duncan a un nivel de confianza de 95 %, utilizando el software estadístico InfoStat versión 11-2008. (Di Rienzo, et al., 2011).

Los espectros de FTIR, no se analizaron estadísticamente, solo se analizaron e interpretaron.

TABLA N° 13. Operacionalización de variables

Variable independiente	Indicador	Índice
Películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa.	Cantidad de almidón y mucílago	mL y g
Variable dependiente	Indicador	Índice
Características físicas de la película comestible.	Espesor	mm
	Densidad	g/cm ³
	Humedad	%
	Solubilidad en agua	%
	Capacidad de retención de agua	%
	Opacidad	mm ⁻¹
	Permeabilidad al vapor de agua	g/m ² .min.pa
Interacción polimérica (FTIR)	IR	

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para la elaboración de películas comestibles, diferentes autores proponen formulaciones según el tipo de componentes poliméricos a utilizar, hasta obtener películas de buenas características físicas, cabe mencionar que no existe una norma que indique los estándares de calidad para una película comestible. En el presente trabajo en primera instancia, se determinó las cantidades de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa, que permitieron la obtención de películas comestibles. Las cantidades de mucílago y almidón se presentan en la tabla 14 para cada formulación.

TABLA N° 14. Formulaciones determinadas para los seis tratamientos con tres repeticiones cada una.

N°	Mucílago líquido	Almidón	Glicerina	Vinagre	pH
	mL	g	mL	mL	
X ₁	20	2	2	1	4.49
X ₂	15	2	2	1	4.40
X ₃	10	1	2	1	4.37
X ₄	10	2	2	1	4.47
X ₅	15	1.5	2	1	4.39
X ₆	10	1.5	2	1	4.40

Luego de haber elaborado las 6 formulaciones las películas comestibles de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa, se procedió a la caracterización física y análisis de las mismas, las que a continuación se detallan:

4.1. Análisis de las caracterizaciones físicas de las películas comestibles

4.1.1. Resultado del espesor.

En la Figura 07, se presentan los resultados para los valores del espesor de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis. Los resultados son la media de tres observaciones en se puede apreciar claramente que el espesor de las películas comestibles obtenidas en todos los casos, no fueron uniformes, esto se puede corroborar con el análisis de varianza mostrado en la tabla 14, observando diferencias significativas entre los 6 tratamientos, esto se atribuye al uso de placas petri de diferente tamaño, el homogenizado de la mezcla, así como también a la cantidad de componentes en los diferentes tratamientos.

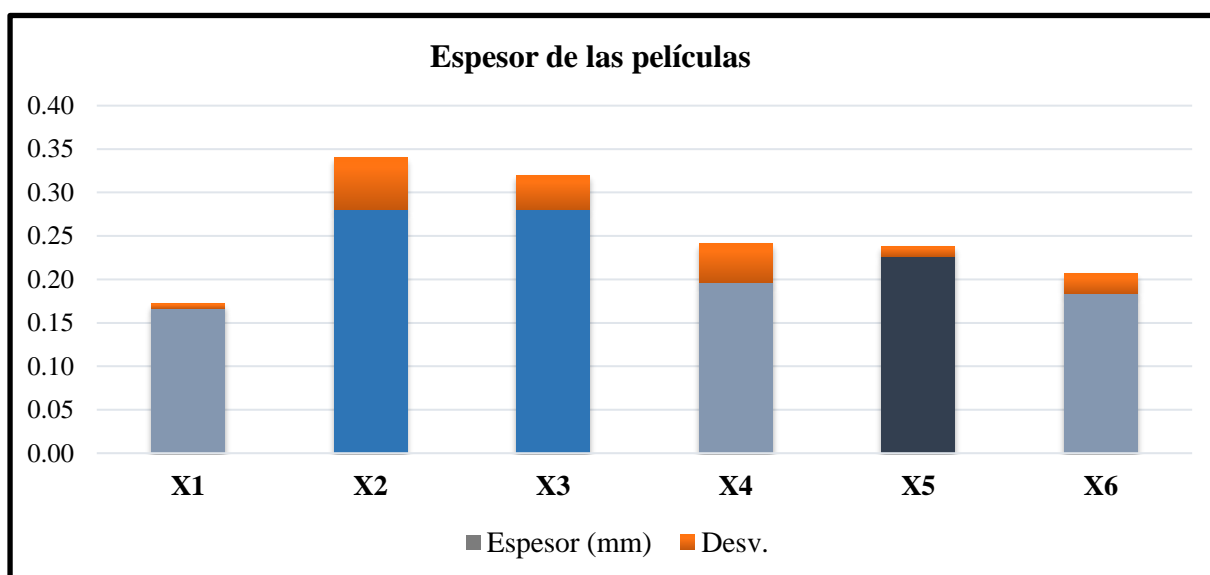


FIGURA N° 07. Espeor de las películas comestibles

TABLA N° 15. Análisis de varianza (ANOVA) para espeor.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0.04	5	0.01	5.35	0.0081
Error	0.02	12	1.3E-03		
TOTAL	0.05	17			

En vista a las diferencias encontradas se realizó la comparación de medias por Duncan (Tabla 16) en donde se aprecian dos grupos diferentes para espeor, en el primer grupo los

tratamientos X₁, X₆, y X₄ presentaron menor espesor, y en otro grupo los tratamientos X₂ X₃ y X₅ que presentaron mayor espesor influenciados por un contenido medio de mucilago, almidón y glicerina; y al parecer también por el homogenizado al momento de mezclar los componentes de la película, estos no interactuaron al mismo tiempo en cada placa petri.

TABLA N° 16. Prueba de Duncan para espesor.

Tratamientos	Medias	N	
X1	0.17	3	A
X6	0.18	3	A
X4	0.20	3	A
X5	0.23	3	A B
X2	0.28	3	B
X3	0.28	3	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

González, L., (2011) en su trabajo de investigación “Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura” menciona que el aumento de espesor es probablemente atribuido a la interacción de la cadena de polisacáridos presentes en el mucílago con el ácido oleico, dando como resultado cavidades intersticiales de mayor tamaño y al mismo tiempo permitiendo mayor permeabilidad de vapor. En nuestro trabajo también se apreció que el tratamiento con mayor espesor X₂ presentó mayor permeabilidad.

Ibargüen, et al., (2015) realizaron un estudio acerca de la la elaboración y caracterización de películas comestibles a base del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller L.) en la que mencionan que el comportamiento del espesor es creciente a medida que es incorporado el alginato (Ag) en las formulaciones, esto puede ser atribuido a la dilatación de las muestras y a su vez a una mayor homogenización de los componentes, en este estudio encontró que las películas

que solo contienen Aloe vera (A.V), presentan espesor de 0.0169 mm; mientras que al incorporar proporciones de Alginato (Ag) a las películas se afectan significativamente los valores de espesor ya que a una proporción de (90 A.V). (5Ag) obtuvo un espesor de 0.0310 mm.

También Oregel-Zamudio et al., (2016) en una investigación de la caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla concluyeron que existe una relación entre el grosor y la cantidad de solutos incorporados en la formulación de las películas, obteniendo espesores desde 0.59 mm a 0.73 mm. Así mismo Salinas, V., (2014) en un estudio de caracterización de películas comestibles a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y evaluación de su aplicación como recubrimiento comestible en ciruela (*Prunus salcina* L.) para su conservación en fresco encontró que el espesor promedio para las películas con mucilago de nopal y grenetina fue de 0.131 mm, para aquellas que contienen además cera de abeja y 0.160 mm, presentándose una diferencia significativa ($p \leq 0.05$), ocasionada por la composición y naturaleza de sus componentes, además de la concentración de los mismos.

En nuestro caso se obtuvieron espesores desde 0.17 mm hasta 0.28 mm, valores muy cercanos a lo reportado en estos estudios.

4.1.2. Resultado de densidad.

En la figura 08, se presentan los resultados para los valores de la densidad de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis. Los resultados son la media de tres observaciones.

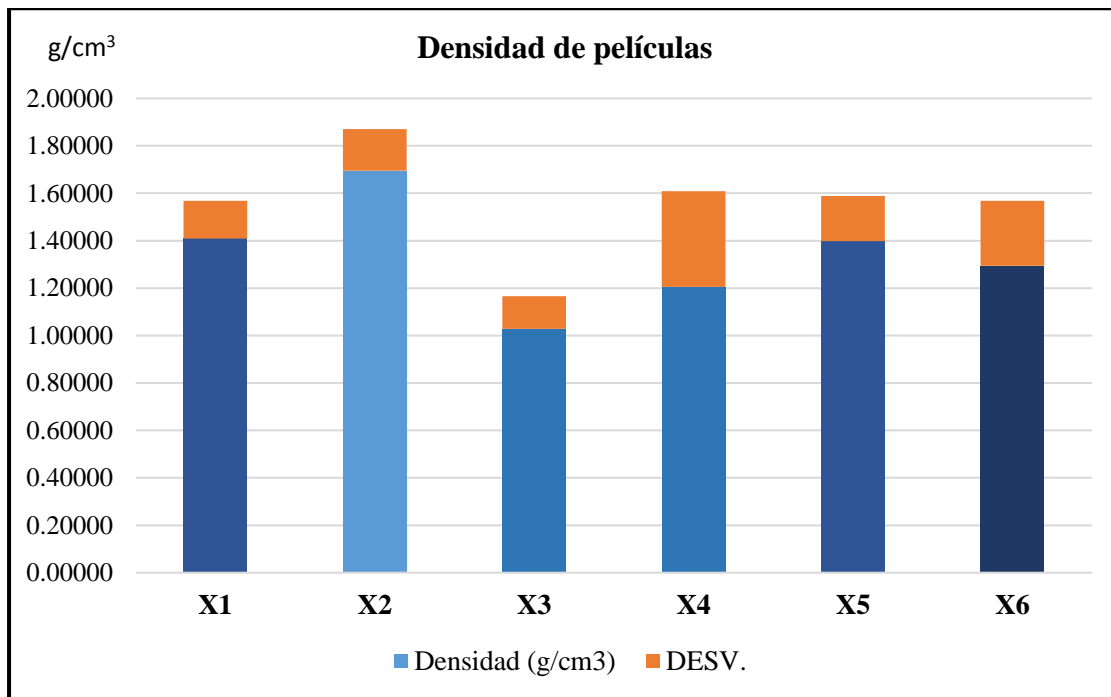


FIGURA N° 08. Densidad de las películas comestibles

Las películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa, en todos los casos, no presenta uniformidad en los valores de espesor debido a su composición y la naturaleza de sus componentes, como se mencionó los resultados no presentan valores homogéneos, si se compara con un plástico común en la que una maquina extrusora es la que se encarga de dar el espesor característico de una película de plástico común. (García, A., 2015). En nuestro caso no se utilizó la maquina extrusora, esta operación se realizó manualmente lo que al parecer influyó en los resultados de esta característica. Esto se confirma con el análisis de la varianza que se muestra en la tabla 16, observando ligeras diferencias entre los 6 tratamientos.

TABLA N° 17. Análisis de varianza (ANOVA) para densidad.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0.76	5	0.15	2.61	0.0807
Error	0.70	12	0.06		
TOTAL	1.45	17			

TABLA N° 18. Prueba de Duncan para densidad.

Tratamientos	Medias	N	
X3	1.03	3	A
X4	1.20	3	A
X6	1.29	3	A B
X5	1.40	3	A B
X1	1.41	3	A B
X2	1.70	3	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

En la comparación de medias por Duncan (tabla 18), se observa que el tratamiento con mayor densidad presentan mayor espesor caso del tratamiento X₂, debido al espesor de la película comestible, que fue un factor determinante que influyó en la masa del film.. Es decir que la película comestible con mayor espesor presento mayor densidad, pero por otro lado se encontró que el tratamiento X₁ presentó menor espesor y una densidad mayor al tratamiento X₃, se asume que esta particularidad se vió influenciado también por la interacción molecular de los componentes en el homogenizado o mezclado de la formulación: X₁ (20 mL de mucilago, 2g de almidón, 2 mL de glicerina, 1 mL vinagre) y X₃ (10 mL de mucílago, 1g de almidón 2 mL de glicerina, 1 mL vinagre) ya que no guardan relación directa con el espesor de algunos tratamientos, además también el grado de cohesión al parecer también afecto la densidad de la película, ya que en algunos tratamientos es fue en menos tiempo..

Oregel-Zamudio et al., (2016 no encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre la densidad de películas de cera de candelilla obteniendo valores desde 0.129 hasta 0.158, nuestros resultados presentaron un rango de densidades más amplios (desde 1.03 hasta 1.70 g/cm³) pero muy cercanos a estos.

También (Dhanapal, et al., 2012 mencionado por Oregel-Zamudio et al., 2016) menciona que es necesario tener una densidad apropiada para asegurar la estabilidad de la película debido

a que las películas comestibles en general ayudan a mantener la integridad estructural del producto que envuelven. Sin embargo cabe recalcar que no se cuenta con estándares de calidad sobre las películas comestibles, en la actualidad.

4.1.3. Resultado del porcentaje de humedad

En la Figura 09, se presentan los resultados de los valores del porcentaje de la humedad de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis. Los resultados son la media de tres observaciones.

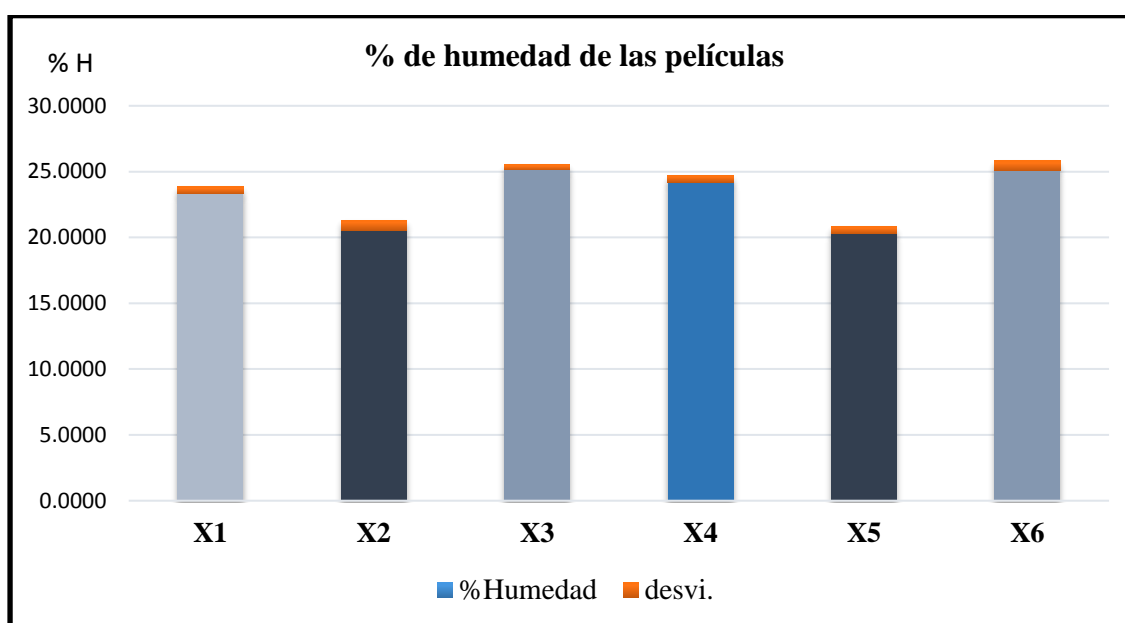


FIGURA N° 09. Porcentaje de humedad de películas comestibles

TABLA N°19. Análisis de varianza (ANOVA) para % humedad

	FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos		71.59	5	14.32	37.99	<0.00001
Error		4.52	12	0.38		
TOTAL		76.11	17			

Tal como se aprecian los valores en la tabla 19, existen diferencias significativas entre los tratamientos. El contenido de humedad de un material se define como la cantidad de agua contenida por unidad de peso de sólido seco o húmedo. (Martines, E y Lira, L., 2010).

Ibargüen, et al., (2015) en su estudio de películas comestibles a base de gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller L.) encontró que al agregar componentes que presentan una gran hidrofilia aumenta la absorción de agua y por ende su contenido de humedad, mostró también la tendencia creciente de humedad al ir agregando el Ag (alginato) en las formulaciones, considerando que una de las características principales de la planta de Aloe vera es su alto contenido de agua, que va del 99 a 99.5 %. En la mayoría de investigaciones se concluye que la humedad de películas depende de la cantidad del plastificante. En nuestro trabajo se cree que la cantidad de componentes y la formación de la matriz polimérica influyeron directamente en el contenido de humedad ya que en diversos estudios se ha comprobado que debido a su naturaleza el glicerol es sumamente higroscópico y por tanto, las películas formadas con este plastificante presentan un aumento en la humedad. (Cho y Ree., 2002 mencionado por Abrajan, M., 2008) indican que por las características del glicerol se debe utilizar como plastificante una combinación en partes iguales de glicerol y sorbitol (polioles) para conseguir efectos intermedios. Por lo que se puede deducir al parecer que la glicerina no fue del todo compatible con el hidrocoloide (mucílago), pues el plastificante y el polímero deben tener similares solubilidades con respecto al solvente utilizado para la formación de películas.

Por otro lado el tipo de almidón involucrado parece afectar a la humedad, el almidón de papa contiene 20% de amilosa y 80% de amilopectina (Brumovsky, L.2014) la amilosa se encuentra formando una cadena lineal que en solución tiene la capacidad de formar películas delgadas, pero al secar, presentan alta rigidez, por su parte la amilopectina, como todo compuesto de alto peso molecular y de cadena ramificada es altamente soluble en agua, ambas combinadas

y en solución pueden formar capas con diferentes propiedades mecánicas y fuertes características de cohesión (Masschelein-Kleiner, 1995 citado por Orozco, E., 2017).

TABLA N° 20. Prueba de Duncan para humedad.

Tratamientos	Medias	N	
X5	20.28	3	A
X2	20.52	3	A
X1	23.32	3	B
X4	24.20	3	B C
X6	25.07	3	C
X3	25.13	3	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

De acuerdo a la comparación de medias por Duncan presentado en la tabla 19, se aprecian aparentemente tres grupos diferentes para humedad.

Se puede apreciar que los tratamientos X₅ y X₂ presentaron menor porcentaje de humedad a pesar de tener mayor densidad respecto a los demás tratamientos. Por lo que se asume que el espesor no influye directamente en el contenido de humedad de las películas comestibles, sin embargo la concentración de los componentes en la formulación si, Han, J., (2014) menciona que el agua, en la formulación, puede actuar como plastificante, pero es eliminado fácilmente de la estructura por deshidratación; la adición de plastificantes hidrófilos puede reducir la pérdida de agua, aumentar la cantidad de agua ligada y así mejorar las propiedades plastificantes. En el caso de los tratamientos X₄, X₆ y X₃ presentaron mayor humedad a pesar de contar con más plastificante en su formulación a diferencia del resto esto podría ser atribuido a las interacciones químicas entre el polímero y el plastificante que no fueron uniformes, influenciadas al parecer por el homogenizado en caliente y en diferentes tiempos.

El porcentaje de humedad es influenciado por el contenido de mucilago Orozco, E., (2017) en un trabajo de elaboración de película comestible de nopal-pectina, siendo P(pectina), A(agua), G(glicerol), M(mucílago) encontró que la película que presentó mayor porcentaje de pérdida de peso (96.7%) fue P-A-G, esto debido a que contenía un mayor porcentaje de agua en la formulación y esta se pierde fácilmente, mientras que la que tuvo menor pérdida fue P-M24-G que contenía mucilago de nopal al 24%, presentó menor pérdida de peso. Nuestros resultados son próximos a los reportados por estos estudios, aparentemente la humedad se vio influenciada por el contenido de mucílago y por el glicerol.

No se han reportado porcentajes de humedad adecuadas para la aplicación de películas comestibles al parecer esto depende de la composición química de la película.

4.1.4. Resultado de solubilidad en agua.

La solubilidad es la medida o magnitud que indica la cantidad máxima de soluto que pueda homogeneizarse en una cantidad determinada de disolvente, a una temperatura dada (Miramont, 2012 citado por Orozco. E., 2017).

La solubilidad de un film se define como la tolerancia que presenta éste al agua u otro solvente. Esta propiedad está determinada por su estructura química, así como por la permeabilidad de ésta (Lee et al., 2004 citado por Abrajan. M, et al., 2008). Durante la solubilidad, el volumen específico de los biopolímeros aumenta debido a la absorción de agua de hidratación por lo que hay una modificación de su estructura (Orozco, E., 2017).

En la figura 10, se presentan los resultados de los valores del porcentaje de solubilidad en agua de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis. Los resultados son la media de tres observaciones

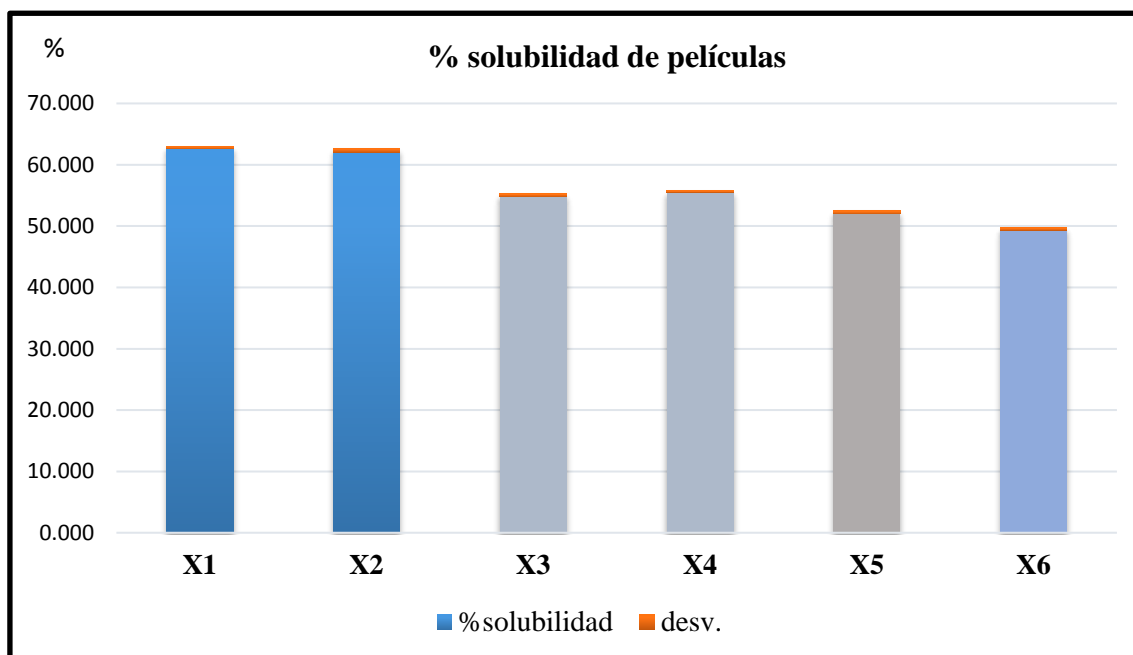


FIGURA N° 10. Porcentaje de solubilidad de películas comestibles.

TABLA N° 21. Análisis de varianza (ANOVA) para % solubilidad en agua.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	418.73	5	83.75	324.90	<0.0001
Error	3.09	12	0.26		
TOTAL	421.82	17			

Y luego de realizar el análisis de varianza (tabla 21), se observan diferencias significativas entre los tratamientos. Posteriormente se realizó la comparación de medias por Duncan (tabla 22) en donde se aprecian cuatro grupos diferentes para % de solubilidad, en donde X₁, y X₂ presentan mayor % de solubilidad de agua respecto a las demás.

TABLA N° 22. Prueba de Duncan para % solubilidad en agua.

Tratamientos	Medias	N	
X6	49.97	3	A
X5	51.99	3	B
X3	54.78	3	C
X4	55.52	3	C
X2	61.99	3	D
X1	62.58	3	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Estos resultados nos indican que el % de solubilidad de agua en las películas, está influenciada por la formulación, la solubilidad de las mismas varía sin importar el espesor y la humedad por lo que se puede deducir que la solubilidad depende de la proporción de los componentes, el plastificante, así como la velocidad de agitación; es decir del efecto estructural de las películas en donde el mucílago actúa como emulsificante y el almidón como espesante, otro factor que también parece influir es el grado de gelatinización del almidón pues en este proceso las uniones de hidrógeno más débiles en las zonas amorfas del almidón se rompen y el gránulo se hincha y se hidrata. Además (Sahbaz et. al., 2004 citado por Orozco. E., 2017) menciona que la baja tasa de disolución indica que existe una mayor cohesión en la matriz polimérica, debido a la formación de numerosos enlaces de hidrógeno entre las cadenas de los polímeros involucrados. En nuestro caso los tratamientos X₆ y X₅ presentaron menor porcentaje de solubilidad de agua y contiene 1.5 g de almidón presumiblemente no hubo una buena cohesión en la estructura polimérica de la película entre el mucílago, almidón, plastificante y acidificante ya que este último modifica los polímeros irregulares del almidón.

Orozco. E, (2017) en un estudio de elaboración y caracterización de películas de mucílago de nopal-pectina, observó una marcada tendencia en la que a medida que la concentración de

mucílago se incrementa, la solubilidad de las películas disminuye. Esto es debido a que al concentrar el mucilago de nopal se elimina agua y se concentran sólidos, también compuestos no solubles en agua como la parte hidrofílica del glicerol y minerales como el Ca^{+2} utilizado en la extracción del mucilago. También (Sahabaz et al., 2004 citado por Salgado. I., 2013) mostraron que el mucílago de nopal disminuye la tasa de solubilidad en agua de las películas, puesto que en películas con contenido de mucílago tuvieron valores menores (57 %) en comparación con las películas que no tuvieron mucílago en su formulación (91 %), atribuyendo dicho comportamiento a la existencia de una mayor cohesión de la matriz polimérica, en las películas con mucílago de nopal.

En nuestro caso se puede apreciar que el tratamiento X_6 presentó mayor % de humedad y menor % de solubilidad en comparación con el tratamiento X_1 pese a que esta tiene mayor cantidad de mucílago, la variación de solubilidad también se le podría atribuir a la cantidad de glicerol y a la baja interacción de la matriz polimérica de la película por la compatibilidad del plastificante con los polímeros en el homogenizado. Sothornvit y Krochta, (2002) indican que los plastificantes de similar estructura pueden diferir en cuanto peso molecular, siendo los de menor peso los que presentan mejor difusividad en la matriz polimérica pero a su vez son los que presentan menor permanencia en la matriz de hidrocoloide separándose de esta fácilmente.

Los valores de solubilidad ilustrados en la tabla 21 y figura 10 pueden definir la correcta aplicación de las películas comestibles, pues si son utilizadas en un alimento con mayor o menor porcentaje de humedad o si son expuestas a atmosferas de distinta humedad relativa. Una película con alto porcentaje de solubilidad se verá comprometida su estabilidad si se quiere aplicar en alimentos más húmedos o si el ambiente donde se almacenará es de alta humedad relativa. Sin embargo será deseable su alta solubilidad si la película es pensada para ser consumida junto con el alimento.

Sería deseable que una película aplicada sobre alimentos con alto contenido de humedad sea insoluble, mientras que si se la va a emplear para bolsas solubles en agua debería ser fácilmente soluble (Sothornvit y Krochta, 2002).

4.1.4. Resultado de capacidad de retención de agua (CRA).

La capacidad de retención de agua es una propiedad que predice la conservación de la calidad del empaque durante el envasado y el almacenamiento de productos alimenticios (Srinivasa, P.C., et al., 2007).

En algunos casos, una capacidad de retención de agua mayor, puede ser deseable para absorber el exceso de agua en la superficie de los alimentos con alto contenido de humedad (Moradi, M., et al., 2012).

En la figura 11, se presentan los resultados de los valores del porcentaje de capacidad de retención de agua de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis, los resultados son la media de tres observaciones.

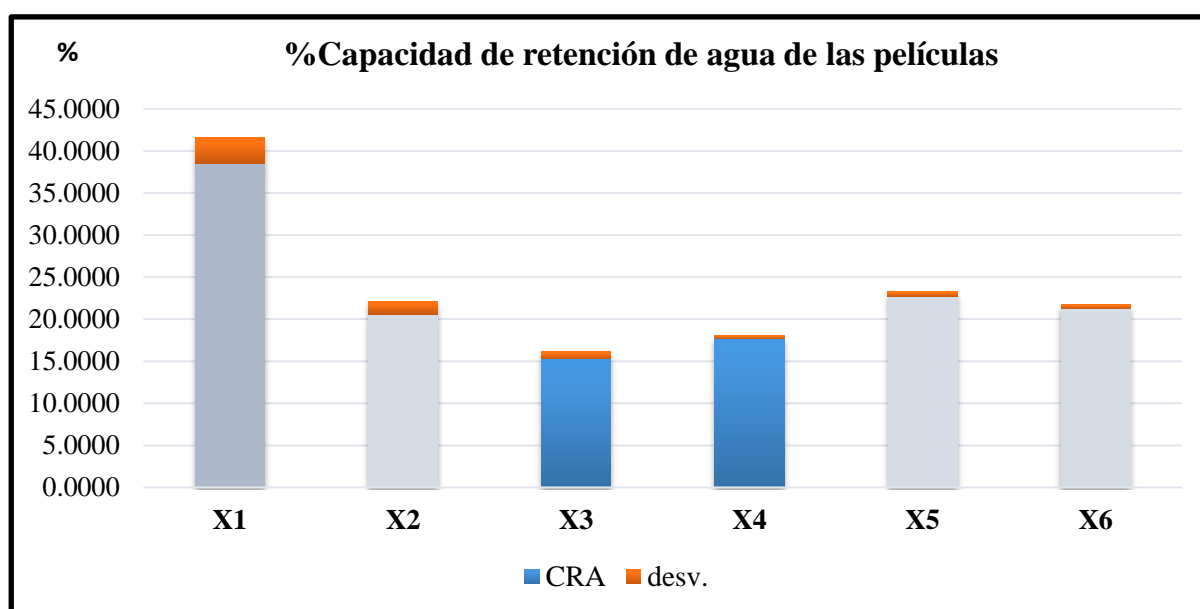


FIGURA N° 11. Capacidad de retención de agua en películas comestibles

Y luego de realizar análisis de varianza (Tabla 23), se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

TABLA N° 23. Análisis de varianza (ANOVA) para % CRA.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	1003.58	5	200.72	89.55	<0.0001
Error	26.90	12	2.24		
TOTAL	1030.48	17			

TABLA N° 24. Prueba de Duncan para % capacidad de retención de agua.

Tratamientos	Medias	N	
X3	15.31	3	A
X4	17.73	3	A
X2	20.58	3	B
X6	21.28	3	B
X5	22.69	3	B
X1	38.47	3	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Por lo que se procedió a realizar la comparación de medias por Duncan encontrando tres grupos diferentes para porcentaje de capacidad de retención de agua, presentando mayor porcentaje de capacidad de retención de agua X_1 en comparación a los otros tratamientos. Al parecer la variabilidad de la capacidad de retención de agua depende de la formulación de los tratamientos, X_1 presenta mayor retención de agua frente al resto pese a tener menor espesor y X_3 presentó la más baja capacidad de retención de agua, al parecer de acuerdo a la cantidad de mucílago, almidón y glicerina utilizados en la formulación ya que en el tratamiento X_1 la cantidad de los mismos es mayor. Quintana, D., (2016), indicó que el mucílago de nopal es un polímero que forma películas capaces de retener agua y de mantener por mucho más tiempo los materiales humectantes.

La capacidad de retención de agua de nuestros resultados se encuentra en un rango de 20 a 25 % de CRA, valores medios con respecto a otros estudios.

4.1.5. Resultado de la permeabilidad al vapor de agua (PVA).

En la figura 12, se presentan los resultados de los valores de permeabilidad al agua de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis. Los resultados son la media de tres observaciones.

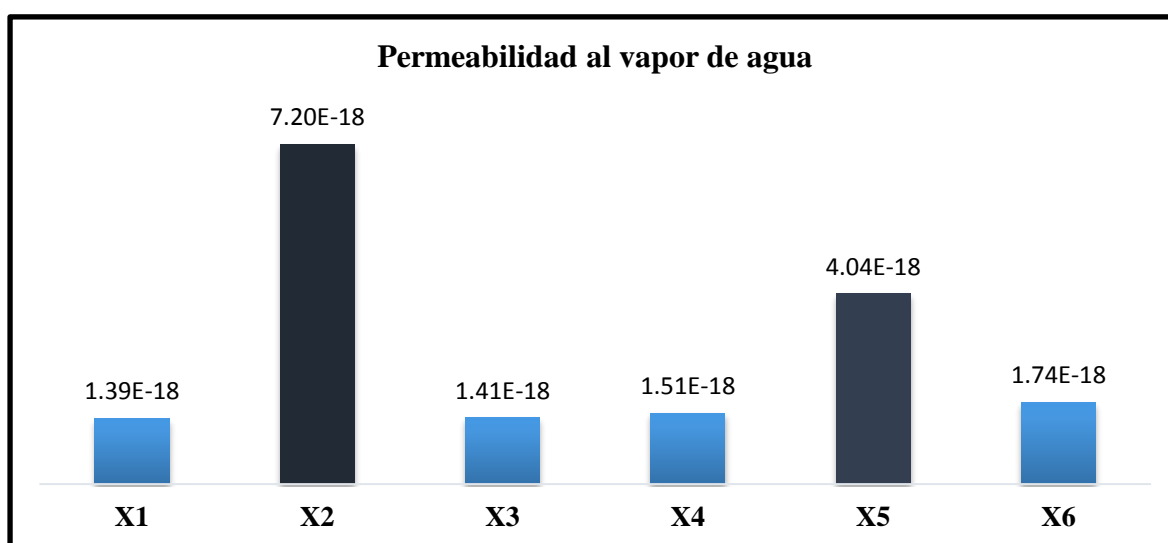


FIGURA N° 12. Permeabilidad al vapor de agua de películas comestibles

TABLA N° 25. Análisis de varianza (ANOVA) para PVA.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	82.84	5	16.57	26.78	<0.0001
Error	7.42	12	0.62		
TOTAL	90.26	17			

En la tabla 25 se muestra el análisis de la varianza en el que se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Y de acuerdo a la comparación de medias por Duncan (tabla 26) se aprecian grupos estadísticamente diferentes para permeabilidad al vapor de agua, en el que los tratamientos X1, X3, X4 y X6 presentaron mayor permeabilidad al vapor de

agua, el segundo grupo se encuentra el tratamiento X₅ que presentó menos PVA y finalmente el tratamiento X₂ presentó mayor permeabilidad al vapor de agua.

TABLA N° 26. Prueba de Duncan para permeabilidad al vapor de agua (*10⁻¹⁸)

Tratamientos	Medias	N	
X1	1.39	3	A
X3	1.41	3	A
X4	1.51	3	A
X6	1.74	3	A
X5	4.04	3	B
X2	7.20	3	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

La permeabilidad al vapor de agua es una propiedad ampliamente estudiada debido al papel que juega el agua en las reacciones deteriorativas de los alimentos. La permeabilidad del agua está relacionada a la difusividad y a la solubilidad del material en el agua; si el material es altamente soluble en agua, la permeabilidad será menor (Ayranci, et al., 2003; Rojas et al., 2007 mencionado por Orozco. E, 2017). En la figura 16 se puede observar que la película que presentó mayor permeabilidad al agua fue el tratamiento X₂ una de las razones podría ser que presento el mayor espesor. Orozco. E., (2017) observó que la permeabilidad al vapor de agua disminuye conforme aumenta el porcentaje de mucilago de nopal en las formulaciones de películas, esta característica es atribuible a la capacidad absorbente que tiene el mucilago, este hidrocoloide se asemeja a una red, con una estructura capaz de sostener grandes cantidades de agua.

Los resultados encontrados para esta característica parecen haber sido influenciados por el contenido medio de mucilago, almidón y glicerina, así como también por la baja interacción molecular durante el homogenizado.

El glicerol tiene la capacidad de reducir las interacciones entre biopolímeros, lo que incrementa el espacio intermolecular y por lo tanto la permeabilidad de las películas. Además (Rodríguez et al., 2006). Indica que dicho plastificante, al ser una molécula hidrofílica favorece la adsorción-desorción de las moléculas de agua. El agua tiene un papel muy importante dentro de la formulación, ya que los cationes (H^+) de las moléculas de agua interactúan con el almidón que tiene una carga neta negativa, los grupos hidroxilos del glicerol, el grupo carboxilo ($-COOH$) del vinagre y las cargas negativas del mucílago (grupos carboxilos), mientras que los aniones (O^{+2}) que tienen afinidad por las cargas positivas, quedan disponibles para interactuar con los hidrógenos de las moléculas de agua que intentan permear la película, al generarse estos puentes de hidrogeno, el agua no migra y se queda retenida en la película, lo que genera una hidratación de la misma, pero con una baja permeabilidad.

También se tiene que tener en cuenta que las moléculas de almidón (amilosa y amilopectina) están dispersas en la solución acuosa (gelatinizada), después del enfriamiento las porciones lineales de varias moléculas se colocan paralelamente debido a la formación de enlaces puente de H, esto obliga a las moléculas de agua a apartarse y a permitir que las moléculas cristalicen juntas.

(Anchundia, K et al., 2016) obtuvo valores de PVA en películas elaboradas con diferentes concentraciones de cáscara de plátano entre $2.41 \times 10^{-11} \text{ g m/sm}^2\text{Pa}$ y $4.03 \times 10^{-11} \text{ g m/sm}^2\text{Pa}$. Por otro lado (Ibargüen, et al., 2015) observó que los valores de PVA obtenidos para las diferentes formulaciones de películas de Aloe Vera, variaron desde $0.52 \times 10^{-9} \text{ g/m.s.Pa}$ hasta $2.47 \times 10^{-9} \text{ g/m.s.Pa}$. Estos valores son mayores a los obtenidos en el presente trabajo ya que las películas obtenidas a partir de mucílago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa se encuentran entre $1.39 \times 10^{-18} \text{ g m/sm}^2\text{Pa}$ a $7.20 \times 10^{-18} \text{ g m/sm}^2\text{Pa}$, tal como afirma (Mendoza, L., 2012) para la conservación de frutas y hortalizas mientras más bajos sean los valores de permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos, se podrían considerar mejores recubrimientos, ya que de

esta manera el alimento no pierde peso por deshidratación y conserva sus características originales por más tiempo, comparando nuestros resultados con lo reportado en otros estudios en general por su bajo PVA podrían considerarse recubrimientos adecuados.

Varios estudios sobre su estructura y composición han reportado que el mucílago es una sustancia polimérica compleja y ramificada, con composición muy similar a la pectina, que contienen grupos carboxilos libre capaces de interactuar y retener las moléculas de agua en grandes cantidades, siendo así, es evidente que los resultados de permeabilidad al vapor de agua disminuyan conforme aumenta la concentración de mucílago, ya que las moléculas de agua que se retienen en la película son entonces mayores con respecto a las formulaciones con menor contenido de mucílago.

4.1.7. Resultado de la opacidad.

En la figura 13, se presentan los resultados de los valores de opacidad de los tratamientos correspondientes a las 6 formulaciones evaluadas en la presente tesis. Los resultados son la media de tres observaciones.

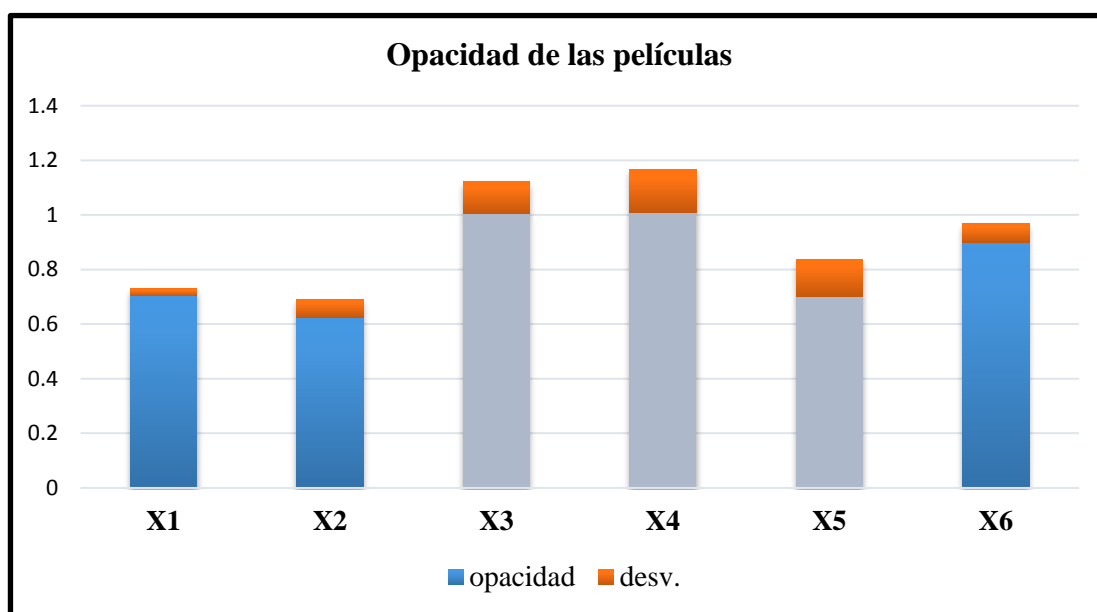


FIGURA N° 13. Opacidad de películas comestibles

TABLA N° 27. Análisis de varianza (ANOVA) para la opacidad.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0.42	5	0.08	7.58	<0.0020
Error	0.13	12	0.01		
TOTAL	0.56	17			

En la Tabla 27, se muestra el análisis de varianza en la que se puede apreciar las diferencias significativas en los tratamientos. Y de acuerdo a la comparación de medias realizada por Duncan (Tabla 28) se observan dos grupos claramente definidos para opacidad, siendo los tratamientos X₂, X₅ y X₁ los que presentaron mayor opacidad, versus los tratamientos X₆, X₃ y X₄ que presentaron menor opacidad es decir mayor paso de haz de luz.

TABLA N° 28. Prueba de Duncan para opacidad.

Tratamientos	Medias	N	
X2	0.63	3	A
X5	0.70	3	A
X1	0.70	3	A
X6	0.90	3	B
X3	1.00	3	B
X4	1.01	3	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

La opacidad de un material es la inhabilidad de transmitir luz, teniendo una transmitancia de luz de cero (0), además las propiedades ópticas están íntimamente vinculadas con la estructura molecular de las películas comestibles (SEMARNAT, 2006).

Cuando la luz incide sobre la superficie de un objeto, es reflejada, absorbida o transmitida como resultado de las interacciones de la luz-objeto que determina el color, el brillo y la transparencia que presenta la superficie del objeto (Hutchings, 1999 citado por Aguilar A., 2013).

Los resultados encontrados son atribuidos a la diferencia de espesor entre cada tratamiento evaluado, por ejemplo el tratamiento X₄ tiene menor espesor por ende menor opacidad y el tratamiento X₂ que tiene mayor espesor por consiguiente mayor opacidad Salinas, V., (2014) analizaron propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de nopal, detectando que la transparencia presentada en las películas se vio afectado por la composición de cada formulación, siendo las formulaciones de un solo componente (grentina) las de mayor transparencia aquellas que contienen tres componentes (grentina, mucílago de nopal y cera de abeja) menor transparencia, lo cual implicó que la adición de más de un componente y la presencia de lípidos reduce considerablemente la transparencia en películas lo cual parece haber ocurrido en nuestro caso ya que se utilizaron dos componentes mucílago y almidón.

4.1.8. Resultado de Interacción estructural mediante espectroscopia infrarrojo FTIR

La espectroscopia infrarroja mide la radiación infrarroja absorbida por las moléculas, lo que ocasiona una modificación en los niveles de energía vibracional; que permite identificar grupos funcionales (átomos enlazados) en la molécula y la identificación de la misma. (Piqué y Vázquez, A., 2012).

Cuando diferentes polímeros son compatibles, las interacciones intermoleculares se llevan a cabo, de tal forma que el estudio espectroscopia de IR de una mezcla es útil para entender la compatibilidad de los polímeros (Ibargüen, et al., 2015).

Por lo tanto en el presente trabajo, la espectroscopia FTIR fue utilizada para determinar las interacciones entre el mucílago, almidón, glicerina, vinagre presentes en la matriz polimérica.

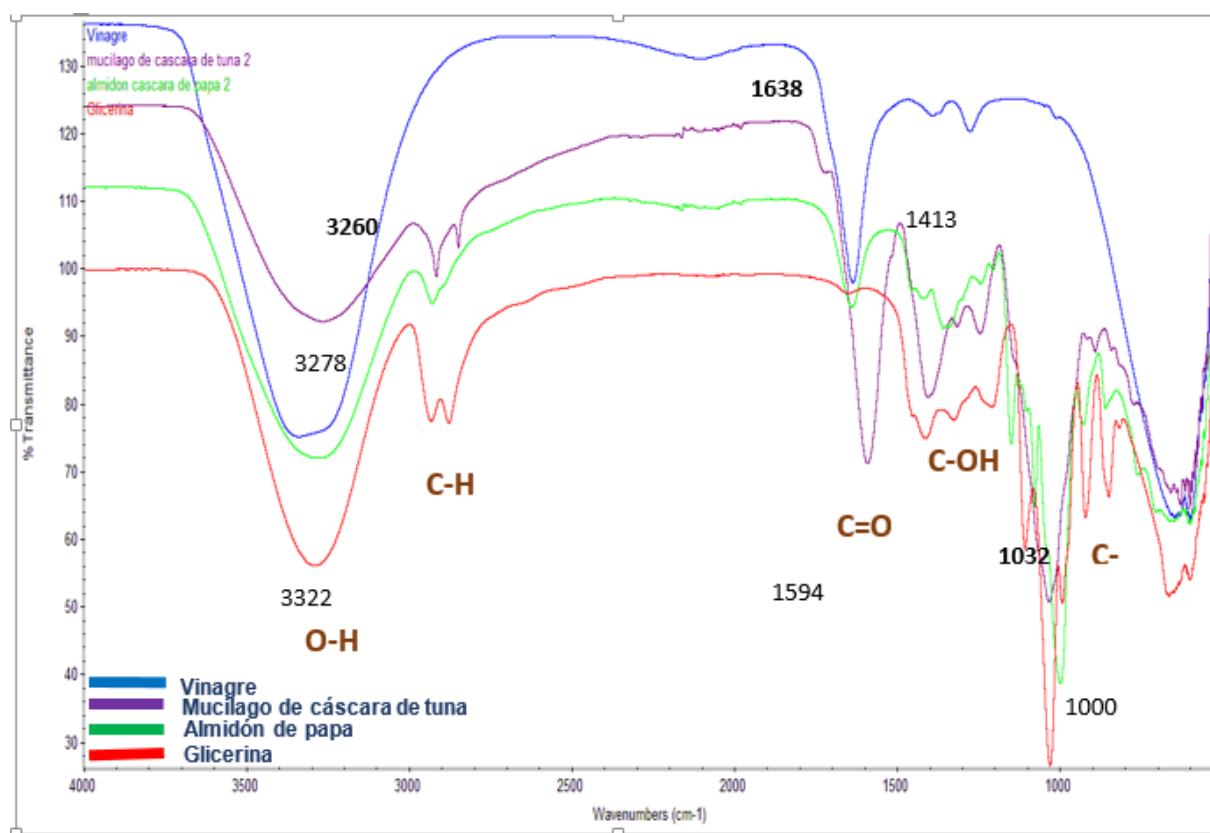


FIGURA N° 14. Espectro de infrarrojo para los componentes de las películas

Mediante el equipo de infrarrojo se realizaron, barridos de 16 lecturas en un minuto a una absorbancia de 0 a 0.60, en una región de infrarrojo medio de números de onda entre 4000 a 400 cm⁻¹se. Cabe recalcar que los picos de extremo superior indican la máxima absorbancia. Cada sustancia tiene un espectro característico, En la figura 17 se muestran los espectros de todos los componentes de las películas en transmitancia versus número de onda.

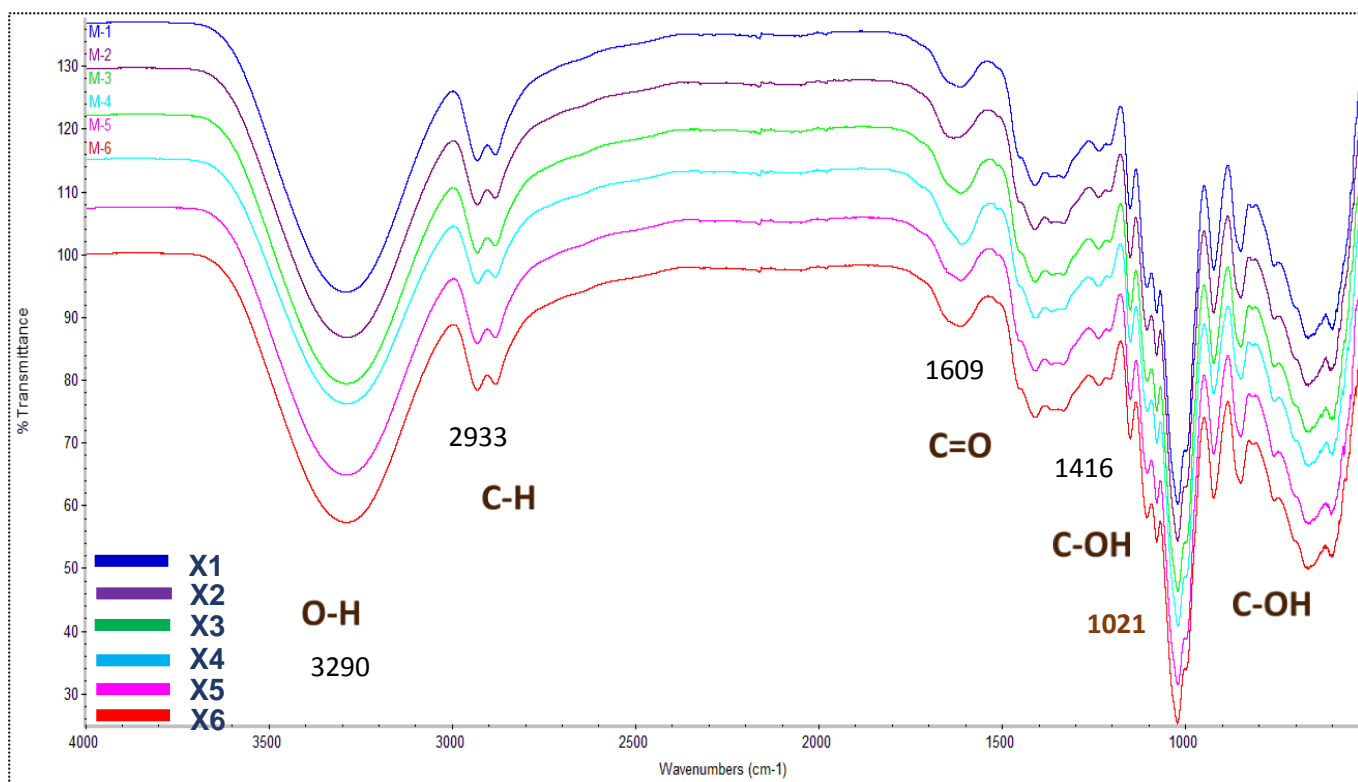


FIGURA N° 15. Espectro de infrarrojo para los seis tratamientos.

Del mismo modo se analizaron las películas de los 6 tratamientos y en la figura 18 se observan los espectros de los 6 tratamientos en las que se puede apreciar que existe semejanzas entre los espectros de cada tratamiento de las películas comestibles a excepción del tratamiento X4 se observa una mayor incidencia en el pico 1600 cm^{-1} región de estiramiento C=O al parecer por tener más contenido de almidón.

Mediante la información de las regiones de los espectros mostrados en la figura podemos apreciar que en la región de $3370\text{-}3240\text{ cm}^{-1}$ una amplia banda típica indica del grupo funcional -OH, que indican la presencia de los enlaces de hidrogeno polimérico (Hollman, et al., 2009) también, en la región de $3000\text{ a }2840\text{ cm}^{-1}$ en la región de $3000\text{ a }2840\text{ cm}^{-1}$ se aprecia un pico correspondiente a estiramiento CH presumiblemente, la existencia de componentes aromáticos la región de $1700\text{ a }1600\text{ cm}^{-1}$ la presencia de un pico correspondiente a estiramiento C=O indica los grupos o compuestos heterocíclicos también se aprecia otro pico en la región cercana a 1400

cm^{-1} correspondiente a una vibración de estiramiento C-OH, finalmente se observa los picos en las regiones cercanas a 1000 cm^{-1} que corresponden a estiramiento C-OH con mayor energía.

El análisis de FTIR, permitió reconocer los grupos funcionales más predominantes como O-H, C-OH, C-H, C=O presentes en todas las películas comestibles ya que el almidón y el mucílago son polímeros responsables de la interacción para la formación de las biopelículas, junto al plastificante y acidificante.

Cuanto más fuertes o rígidos son los enlaces químicos mayores son las frecuencias observadas, Las masas atómicas menores tienden a originar frecuencias mayores, si hay humedad en la muestra, absorciones anchas debidas a las vibraciones OH en torno a 3500 y 1400 cm^{-1} ocultan la existencia de otras posibles bandas en esas zonas (Nakamoto, K., 2009).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las cantidades intermedias y altas utilizadas de mucílago de cáscara de tuna, almidón de cáscara de papa y glicerina, influyeron en la obtención de películas comestibles, así como en sus características físicas.
- Las características físicas de las películas comestibles, presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p < 0.05$), encontrando que la densidad y opacidad dependieron del espesor; el contenido de humedad, solubilidad en agua, capacidad de retención de agua y permeabilidad al vapor de agua estuvieron influenciados más por la formulación y también por la homogenización de la mezcla de los componentes, en el caso de permeabilidad se obtuvieron valores muy bajos lo que implica la viabilidad del uso de estas películas en futuras aplicaciones, dándole valor agregado a estos subproductos de la agroindustria.
- Finalmente los espectros de FTIR de las 6 formulaciones mostraron similitud en la interacción de los componentes de las películas comestibles.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a los futuros investigadores que se dedique a la investigación, lo siguiente:

- Que la película comestible de mucilago de cáscara de tuna y almidón de cáscara de papa debe ser estudiada con mayor profundidad y su aplicación mediante pruebas de conservación de alimentos.
- Mejorar la técnica de preparación de soluciones filogénicas para eliminar las burbujas de aire ya que estas influyen en la apariencia de la película formada.
- Analizar la microestructura molecular de las películas mediante ensayos de microscopia electrónica de barrido. También hacer un análisis en texturómetro.
- Evaluar también la permeabilidad al O₂ y CO₂, para ampliar la investigación, debido a que estas películas estarán en contacto con alimentos.

VI. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

- Anchundia, K., Santa, C.E y Coloma, J. (2016) “Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)”. Revista Chilena de Nutrición, vol. 43. N° 04 Santiago. Investigado en Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí- Ecuador.
- Abrajan, M. (2008) “Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Aguilar, A. (2013). “Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucílago de salvia hispánica y pectina cítrica”. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo-Coahuila México.
- Aguilar, M. (2005) “Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate” Tesis de posgrado. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Álvarez, B. (2007) Análisis de Factibilidad del cultivo de la Tuna en la localidad de Icaño, Departamento la Paz. pag: 6-8. Dirección provincial de programación del Desarrollo, Argentina.
- Albán, P., Delgado, K., Cerón, A., y Villada, H. (2016). “Efecto del plastificante y agente espumante en espumas termoplásticas de almidón”. Agronomía Colombiana.
- Amaya, J. E. (2009) “El cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica*)”. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú.
- Bioenciclopedia, (2016) El Nopal <http://www.bioenciclopedia.com/nopal/> (14/12/2016)

- Briones, J. (2011). “Obtención de harinas de cereales leguminosas precocidad y su aplicación en alimentos para adulto mayor” Tesis. Instituto Politécnico Nacional, Ciencias Biológicas. México
- Brumovsky, L. A. (2014). “Química del almidón”. Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Posadas, Misiones, Argentina.
- Carballo, E.A y Martinez .E.S. (2010) “Determinacion de la permeabilidad al vapor de agua por el metodo ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano”. Tesis. Facultad de Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador, Centroamerica.
- Cerezal, P. y Duarte, G. (2005) “Algunas características de tunas (*Opuntia ficus indica* (L) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la segunda Región de Chile”. Journal of the Professional Association for Cactus Development.
- Cha, D. S., y Chinnan, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44:223-237.
- CONAZA (1981). El Nopal INIF. SARH Dirección general de política agrícola, Reunión Nacional. DF México.
- Chuta-Tintaya, F.M., y Cornejo-Soto, E. E. (2017). “Optimización del proceso de secado de películas biodegradables formuladas a partir de suero de leche y goma de tara (*Caesalpinia spinosa*)”. Tesis Facultad de Ingeniería de Procesos. Escuela Profesional de Ingeniería Química, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2011). InfoStat software estadístico. FCA Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba-Argentina.

- Egúsqiza, B., (2000). “La papa: producción, transformación y comercialización”. International Potato Center. Lima – Perú.192p
- FAO, (2006). “Utilización agroindustrial del nopal (*Opuntia ficus indica*)”. Boletín de Servicios Agrícolas. Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma Italia.
- FAO, (2008). “La papa como alimento básico para combatir la desnutrición”. Año internacional de la papa. Roma Italia.
- García, A. (2015) “Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz” Informe de investigación. ITCA Escuela de Ingeniería Química Santa Tecla, San Salvador El Salvador.
- García, S., y Posada, A. (2000) “Estudio del aprovechamiento de la cáscara de papa como insumo en la producción de alimentos balanceados para animales”. Tesis. Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería. Santafe de Bogotá, Colombia.
- Gerencia Regional Agraria La Libertad (2009). “Cultivo de tuna (*Opuntia ficus índica*.) Trujillo”.Perú
- González, F. (2011). “Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura”. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Simón Bolívar. 10:(10)131-138
- Guadrón, E. (2013). “Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (*Musa sp.* Variedad cuadrado), para su uso en la industria de alimentos”. Tesis. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de alimentos. Universidad del Salvador, El Salvador.
- Guan, J., & Hanna, M. A. (2004). Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber. *Industrial Crops and Products*, 19(3), 255-269.

- Günzler H. y Hans-Ulrich G. (2002). “IR Spectroscopy, an introduction” Jhon Wiley & Sons. New York. 374p.
- Han, J. H. (2014). “Edible Films and Coatings”. En Han, J. (Ed.). Innovations in Food Packaging (Second edition) 213-255 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>
- Hernández-Izquierdo, V. M., y Krochta, J. M. (2008). “Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation” A: Review. Journal of Food Science 73(2) 30-39.
- Hollmann J., Elbegaya N., Pawelzik E. and Lindhauer M.G. (2009). “Isolation and characterization of glucuronarabinoylans from wheat bran obtained by classical and ultrasound-assisted extraction methods”. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods. 231-239. Blackwell Publishing Ltd doi:10.1111/j.1757-837X.2009.00039.x
- Ibargüen A.O, Magda, I y Pinzón, F (2015) “Elaboracion y caracterizacion de peliculas comestibles a base de gel de aloe vera (*Aloe barbadnsis* Miller L)” Alimentos Hoy Revista de la Asociacion Colombiana de Ciencia y Tecnologia de Alimentos 23:(36)133-149.
- Ibargüen, A.O y Pinzon M.I. (2015) Caracterización de las propiedades mecánicas y de barrera de películas biodegradables a base de Aloe vera (*Aloe Barbadensis* Miller). Alimentos Hoy Revista de la Asociacion Colombiana de Ciencia y Tecnologia de Alimentos. 24:(34)35-39.
- Ibáñez, F.C., Torre P. y Irigoyen A. (2003) “Aditivos alimentarios”. Área de Nutrición y Bromatología Universidad Pública de Navarra. España.10p
- INEI (2011). “Producción de papa por departamento/ provincia en Ton/año”. Compendio estadístico Perú, Agrario. Lima Perú.
- INEI (2015). “Disposición de residuos sólidos domésticos y no domésticos por departamento”

Anuario de estadísticas ambientales. Lima Perú.

Instrumentos de laboratorio, (2018) “Materiales de laboratorio”

<http://instrumentosdelaboratorio.org/> (24/03/2018)

Jiménez, E. (2014). “Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) a partir de diferentes métodos de extracción”. Tesis Facultad de Ciencias Química y Farmacéuticas. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Universidad de Chile. Santiago Chile.

Kester, J.J. y Fenema, O. (1986) “Edible films and coatings: A review”. *Food Technology*. 40:47-59.

Knutzon, C. A y Grove, M. J. (1994). “Main content area rapid method for estimation of amylose in maize starches”. *Cereal chemistry* 71(5):469-471.

Kramer M.E. (2009) Structure and Function of Starch-Based Edible Films and Coatings. In: Huber K., Embuscado M. (eds) *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York, NY 113-134.

Loyola, N., (2007).”Evaluación del contenido de almidón en papas (*Solanum tuberosum* CV. desirée), producidas en forma orgánica y convencional, en la provincia de Curicó, Región del Maule. Tesis Universidad Católica del Maule. Chile.

Marzo, I. (2010). “El tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en la zeína”. Tesis. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra, España.

Mendoza, L. “Characterization of films forming solutions made with flour and barley starch”. Instituto Politécnico Nacional. Morelos, México. 2012. p 72.

- Molinero, L.(2012). “Produccion de monogliceridos por esterificacion de glicerina con acido cinamico y *p*-Metoxicinamico”. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Quimicas. Univerisdad Complutense de Madrid. Madrid España.
- Montenegro G., Gómez, M., Pizarro R., Casaubon G., y Peña R. (2008). “Implementación de un panel sensorial para mieles chilenas”. *Ciencia e Investigación Agraria* 35(1):51-58.
- Martines, E., Lira, L. (2010). “Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos”. In *Simposio de metrología* (pp. 27-29).
- Moradi, M., Tajik, H. y Rohani, S.M.R., Oromiehie, A.R., Malekinejad, H., Aliakbarlu, J. y Hadian M. (2012). "Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and grape seed extract". *Lwt-Food Science and Technology*, 46(2):477-484.
- Morales, M. (2011). “Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola”. Tesis. Universidad Autonoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo Coahuila. México.
- MINAGRI, (2017). “Boletín estadístico de producción agrícola y ganadería. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (2016). “Manejo de residuos sólidos”. Lima Perú.
- Nakamoto, K. (2009). “Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds part A: Theory and application in organic chemistry 6th Edition. Jhon Wiley & Sons. New York. 432p.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2008). “Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears”. *Postharvest Biology and Technology*, 50:,87-94.

- Olivas, G. I., y Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coating for fresh-cut fruits. *Critical Review in Food Science and Nutrition*. 45: 657-670.
- Orozco, E. (2017). “Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal- pectina: efecto de la concentración de mucilago de nopal en la propiedades fisicoquímicas y mecánicas” Tesis de pregrado. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Oregel-Zamudio, E., Aguilar C.N., Oyoque-Salcedo G., Angoa-Pérez M.V., Mena-Violante H.G. E (2016). “Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla”. *Rev. Iber Tecnologia Postcosecha* 17(1):1-7.
- Osés, J. (2006). “Desarrollo, caracterización y aplicaciones alimentarias de recubrimientos comestibles basados en proteína de suero de leche, almidón y goma de mezquite”. Universidad Pública de Navarra. España
- Ornelas, J. (2011). Mejoramiento del método de extracción del mucilago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad. Tesis de. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacan México
- Pardo, O., Castañeda, J, y Ortiz, C. (2013). “Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa”. *Acta Agronómica*, 62,4:289-295 Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia.
- Pagliaro, M. y M. Rossi. (2008). "The future of glycerol." Royal Society of chemistry.
- Wordreference (2017) definicion de espesor. <http://www.wordreference.com/definicion/espesor> (2/12/217)
- Piqué, T y Vázquez, A. (2012). “Uso de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación de cemento. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*. 3(2)62-71.

- Pornsuksomboon, K., B.B. Barta, K. M. Szécsényi y K. Kaewtatip (2016) Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. Carbohydrate Polymer 136,107-112. Doi: 10.1016/j.carbpol.2015.09.019
- Quintana, D. (2016). “Utilidad de la baba del nopal para elaborar cosméticos”. Investigadores de la Facultad de Estudios Superiores Cautitlán de la UNAM. México.
- Quintero, C., Falguera, V. y Muñoz, H. A. (2010). “Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola”. Revista Tumbaga 5:93-118.
- QuimiNet, (2017) “Importancia y uso del almidón” <https://www.quiminet.com/articulos/el-almidon-30854>. (22/03/2017).
- Rubinson K.A., Rubinson J.F., (2000.) “Análisis Instrumental”. Ed. Pearson Educación. Madrid España. 872p.
- Roblejo, J. (2009). “Evaluación de la aplicación de coberturas de quitosana en la conservación de tomates”. Tesis de Pregrado, Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de la Habana, La Habana Cuba.
- Rodríguez M., Osés J., Ziani K, Mate J. I. (2006). “Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films”. Food Research International 39(8): 840-846.
- Rodriguez.,et al. (2010). “Aplicación del mucilago de nopal (ficus indica) como espesante en una crema de huitlacoche (ustilago maydis) en la producción de un alimento funcional, y su evaluación sensorial”. Artículo. XII congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos. Facultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ES441- 448.

- Ruíz, F., (2009). “Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración”. Tesis. Universidad de las Américas Puebla. Puebla México
- Saéñz, C. (2006) “Uso agroindustrial del nopal”. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Roma Italia.
- Salgado, I. (2013). “Efecto de la adición de quitosano en las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, brillo y microestructura en films comestibles a base de almidón de trigo”. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Salinas, V. (2014). “Caracterización de películas comestibles a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y evaluación de su aplicación como recubrimiento comestible en ciruela (*Prunus salcina* L.), para su conservación en fresco”. Tesis de maestría. Facultad Química. Universidad Nacional Autónoma De México. Cd. de México.
- Sánchez, Y.C. (2014) “Efecto de la aplicación de coberturas biodegradables y la temperatura sobre el color, firmeza, pérdida de peso y la aceptabilidad general en la palta (*Persea americana* Mill) variedad fuerte, durante el almacenamiento”. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias alimentarias. Universidad Privada Anterior Orrego. Trujillo - Peru.
- SEMARNAT (2006). “Norma oficial mexicana para la medición de la opacidad ”.
- Soliva-Fortuny, R.C. Grigelmo-Miguel N, Odriozola-Serrano I, Gorinstein S, Martín-Belloso O. (2001) “Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(8), 3685-3690.

- Srinivasa, P.C., Ramesh, M.N., Tharanathan, R.N. (2007) "Effect of plasticizers and fatty acids on mechanical and permeability characteristics of chitosan films", *Food Hydrocolloids*, 21(7);1113-1122.
- Sothornvit, R; Reid, D.S., Krochta, J.M. (2002) "Plasticizer effect on the glass transition temperature of beta-lactoglobulin ((β -Lg) films. *Transactions the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 45(5):1479-1484. (doi: 10.13031/2013.11038)
- Skoog, D.A. y West D.M. (1985) *Introducción a la química analítica*. Editorial Reverté. Barcelona España. 589p.
- Tharanathan, R.N. (2003). "Biodegradable films and composite coatings: past, present and future". *Trends in Food Science and Technology*, 14(3):71-78..
- Tosco, U. (1979). *Diccionario de Botánica.*, 2ª. ed., Barcelona – España., Editorial Teide.
- TP-Laboratorio Químico, (2017) "Materiales e instrumentos de laboratorio químico"
<https://www.tplaboratorioquimico.com> (26/11/2017)
- Valderrama. B.N., Algecira E.N.A, Albarcacin H.W. (2016) "Efecto del almacenamiento sobre las propiedades físicas de las películas de quitosano con inclusión de aceites esenciales de tomillo y romero". *Revista Materia* 21(1):141-156.
- Xie, F., Pollet, E., Halley, P.J., Avérous, L. (2014) *Advanced Nano-biocomposites based on starch. Polyccharides* 1-75. Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-03751-6_50-1
- Zia, F., Zia, K.M., Zuber, M., Kamal, S. y Aslam N. (2015). *Starch based polyurethanes: a critical review updating recent literature. Carbohydrate Polymer*, 134(10):784-798. Doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.034.

ANEXOS

ANEXO 01

RESULTADO DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS EN ESTUDIO

MUESTRA	ESPESOR (mm)	DENSIDAD (g/cm ³)	%HUMEDAD	%SOLUBILIDAD	% (CRA)	OPACIDAD mm ⁻¹	PVA (g/m ² minpa)
X ₁	0.16	1.278125	23.1198	62.138	36.24	0.713	1.41E ⁻¹⁸
X ₁	0.17	1.364706	23.9224	63.031	37.16	0.676	1.67E ⁻¹⁸
X ₁	0.17	1.585294	22.9128	62.575	42.02	0.724	1.09E ⁻¹⁸
X ₂	0.25	1.868000	21.1991	62.090	19.48	0.668	5.48E ⁻¹⁸
X ₂	0.35	1.519286	19.6521	62.668	22.37	0.657	7.93E ⁻¹⁸
X ₂	0.24	1.700000	20.7108	61.206	19.89	0.55	8.20E ⁻¹⁸
X ₃	0.24	1.163542	24.7090	54.935	14.4	0.892	1.50E ⁻¹⁸
X ₃	0.32	1.032031	25.5555	54.170	15.65	1.128	1.63E ⁻¹⁸
X ₃	0.28	0.888393	25.1121	55.240	15.89	0.993	1.09E ⁻¹⁸
X ₄	0.24	0.890625	24.5614	55.674	17.53	1.171	1.90E ⁻¹⁸
X ₄	0.15	1.660000	23.5944	55.191	18.05	0.86	1.40E ⁻¹⁸
X ₄	0.2	1.063750	24.4418	55.692	17.62	0.995	1.22E ⁻¹⁸
X ₅	0.24	1.421875	19.6337	51.413	22.08	0.858	4.84E ⁻¹⁸
X ₅	0.22	1.196591	20.7171	52.429	22.65	0.632	3.40E ⁻¹⁸
X ₅	0.22	1.576136	20.4758	52.131	23.34	0.609	3.87E ⁻¹⁸
X ₆	0.17	1.230882	25.8065	49.75.8	21.75	0.971	2.66E ⁻¹⁸
X ₆	0.21	1.058333	24.2970	49.034	20.77	0.829	1.27E ⁻¹⁸
X ₆	0.17	1.594118	25.1019	49.619	21.33	0.894	1.28E ⁻¹⁸

ANEXO 02

DATOS PARA DETERMINACION DE LA DENSIDAD

MUESTRAS	VOLUMEN	MASA DE ALUMINIO (g)	MUESTRA +AL (g)	MUESTRA (g)	DENSIDAD (g/cm ³)
X ₁	0.064	0.0523	0.1341	0.0818	1.278125
X ₁	0.068	0.0525	0.1453	0.0928	1.364706
X ₁	0.068	0.0457	0.1535	0.1078	1.585294
X ₂	0.1	0.0408	0.2276	0.1868	1.868000
X ₂	0.14	0.045	0.2577	0.2127	1.519286
X ₂	0.096	0.0401	0.2033	0.1632	1.700000
X ₃	0.096	0.033	0.1447	0.1117	1.163542
X ₃	0.128	0.047	0.1791	0.1321	1.032031
X ₃	0.112	0.0463	0.1458	0.0995	0.888393
X ₄	0.096	0.046	0.1315	0.0855	0.890625
X ₄	0.06	0.0453	0.1449	0.0996	1.660000
X ₄	0.08	0.0327	0.1178	0.0851	1.063750
X ₅	0.096	0.0506	0.1871	0.1365	1.421875
X ₅	0.088	0.0515	0.1568	0.1053	1.196591
X ₅	0.088	0.0388	0.1775	0.1387	1.576136
X ₆	0.068	0.0467	0.1304	0.0837	1.230882
X ₆	0.084	0.0464	0.1353	0.0889	1.058333
X ₆	0.068	0.0378	0.1462	0.1084	1.594118

ANEXO 02

DATOS PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE HUMEDAD

MUESTRA	PESO INICIAL	PESO FINAL	%HUMEDAD
X ₁	0.0718	0.0552	23.11977716
X ₁	0.0928	0.0706	23.92241379
X ₁	0.1078	0.0831	22.91280148
X ₂	0.1868	0.1472	21.19914347
X ₂	0.2127	0.1709	19.65209215
X ₂	0.1632	0.1294	20.71078431
X ₃	0.1117	0.0841	24.70904208
X ₃	0.153	0.1139	25.55555556
X ₃	0.0892	0.0668	25.11210762
X ₄	0.0855	0.0645	24.56140351
X ₄	0.0996	0.0761	23.59437751
X ₄	0.0851	0.0643	24.44183314
X ₅	0.1365	0.1097	19.63369963
X ₅	0.0753	0.0597	20.71713147
X ₅	0.1387	0.1103	20.47584715
X ₆	0.0837	0.0621	25.80645161
X ₆	0.0889	0.0673	24.29696288
X ₆	0.1227	0.0919	25.10187449

ANEXO 03

DATOS PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD

MUESTRA	PESO INICIAL SECO	PESO FINAL	Ps-pf	%SOLUBILIDAD
X ₁	0.0552	0.0209	0.0343	62.138
X ₁	0.0706	0.0261	0.0445	63.031
X ₁	0.0831	0.0311	0.052	62.575
X ₂	0.1472	0.0558	0.0914	62.092
X ₂	0.1709	0.0638	0.1071	62.668
X ₂	0.1294	0.0502	0.0792	61.206
X ₃	0.0841	0.0379	0.0462	54.935
X ₃	0.1139	0.0522	0.0617	54.170
X ₃	0.0668	0.0299	0.0369	55.240
X ₄	0.0645	0.02859	0.03591	55.674
X ₄	0.0761	0.0341	0.042	55.191
X ₄	0.0643	0.02849	0.03581	55.692
X ₅	0.1097	0.0533	0.0564	51.413
X ₅	0.0597	0.0284	0.0313	52.429
X ₅	0.1103	0.0528	0.0575	52.131
X ₆	0.0621	0.0312	0.0309	49.758
X ₆	0.0673	0.0343	0.033	49.034
X ₆	0.0919	0.0463	0.0456	49.619

ANEXO 04

DATOS PARA DETERMINAR EL % DE CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

MUESTRA	PESO INICIAL	PESO FINAL	% CRA
X ₁	0.0356	0.0485	36.24
X ₁	0.0584	0.0801	37.16
X ₁	0.0514	0.073	42.02
X ₂	0.077	0.092	19.48
X ₂	0.1037	0.1269	22.37
X ₂	0.0709	0.085	19.89
X ₃	0.0507	0.058	14.40
X ₃	0.0588	0.068	15.65
X ₃	0.0604	0.07	15.89
X ₄	0.0485	0.057	17.53
X ₄	0.041	0.0484	18.05
X ₄	0.0261	0.0307	17.62
X ₅	0.0385	0.047	22.08
X ₅	0.0415	0.0509	22.65
X ₅	0.0317	0.0391	23.34
X ₆	0.0446	0.0543	21.75
X ₆	0.0443	0.0535	20.77
X ₆	0.06	0.0728	21.33

ANEXO 05

DATOS PARA DETERMINAR LA OPACIDAD

MUESTRA	ESPESOR (mm)	ABSORBANCIA	OPACIDAD mm ⁻¹
X ₁	0.16	0.114	0.713
X ₁	0.17	0.115	0.676
X ₁	0.17	0.123	0.724
X ₂	0.25	0.167	0.668
X ₂	0.35	0.23	0.657
X ₂	0.24	0.132	0.550
X ₃	0.24	0.201	0.838
X ₃	0.32	0.361	1.128
X ₃	0.28	0.278	0.993
X ₄	0.24	0.281	1.171
X ₄	0.15	0.129	0.860
X ₄	0.2	0.199	0.995
X ₅	0.24	0.206	0.858
X ₅	0.22	0.139	0.632
X ₅	0.22	0.134	0.609
X ₆	0.17	0.165	0.971
X ₆	0.21	0.174	0.829
X ₆	0.17	0.152	0.894

ANEXO 06

DATOS PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD AL AGUA

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA (VTVA)

MUESTRA	ESPESOR	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	VTVA	Nw
X ₁	0.00017	0.0603	0.0592	2.35768E ⁻⁰⁸	1.51599 E ⁻¹⁸
X ₁	0.00017	0.0477	0.0464	2.78635E ⁻⁰⁸	1.79162 E ⁻¹⁸
X ₁	0.00016	0.0367	0.0358	1.92901E ⁻⁰⁸	1.24035 E ⁻¹⁸
X ₂	0.00022	0.0933	0.09	7.07305E ⁻⁰⁸	4.54797 E ⁻¹⁸
X ₂	0.00035	0.1214	0.1184	6.43004E ⁻⁰⁸	4.13452 E ⁻¹⁸
X ₂	0.00035	0.1205	0.1174	6.64438E ⁻⁰⁸	4.27233 E ⁻¹⁸
X ₃	0.00022	0.0838	0.0829	1.92901E ⁻⁰⁸	1.24035 E ⁻¹⁸
X ₃	0.00018	0.0601	0.0589	2.57202E ⁻⁰⁸	1.65381 E ⁻¹⁸
X ₃	0.00016	0.0387	0.0378	1.92901E ⁻⁰⁸	1.24035 E ⁻¹⁸
X ₄	0.00021	0.0731	0.0719	2.57202E ⁻⁰⁸	1.65381 E ⁻¹⁸
X ₄	0.00017	0.0644	0.0633	2.35768E ⁻⁰⁸	1.51599 E ⁻¹⁸
X ₄	0.00018	0.0541	0.0532	1.92901E ⁻⁰⁸	1.24035 E ⁻¹⁸
X ₅	0.0002	0.0801	0.0769	6.85871E ⁻⁰⁸	4.41015 E ⁻¹⁸
X ₅	0.00015	0.0514	0.0484	6.43004E ⁻⁰⁸	4.13452 E ⁻¹⁸
X ₅	0.00016	0.0541	0.0509	6.85871E ⁻⁰⁸	4.41015 E ⁻¹⁸
X ₆	0.00032	0.1057	0.1046	2.35768E ⁻⁰⁸	1.51599 E ⁻¹⁸
X ₆	0.00014	0.0463	0.0451	2.57202E ⁻⁰⁸	1.65381 E ⁻¹⁸
X ₆	0.00017	0.062	0.061	2.14335E ⁻⁰⁸	1.37817 E ⁻¹⁸

DATOS PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

MUESTRA	Nw	Pw₁	VTVA g/sm²	ESPESOR (m)	PVA (g/m².min.pa)
X₁	1.52E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.36E ⁻⁰⁸	0.00017	-1.41E ⁻¹⁸
X₁	1.79E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.79E ⁻⁰⁸	0.00017	-1.67E ⁻¹⁸
X₁	1.24E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	1.93E ⁻⁰⁸	0.00016	-1.09E ⁻¹⁸
X₂	4.55E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	7.07E ⁻⁰⁸	0.00022	-5.48E ⁻¹⁸
X₂	4.13E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	6.43E ⁻⁰⁸	0.00035	-7.93E ⁻¹⁸
X₂	4.27E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	6.64E ⁻⁰⁸	0.00035	-8.20E ⁻¹⁸
X₃	1.24E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	1.93E ⁻⁰⁸	0.00022	-1.50E ⁻¹⁸
X₃	1.65E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.57E ⁻⁰⁸	0.00018	-1.63E ⁻¹⁸
X₃	1.24E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	1.93E ⁻⁰⁸	0.00016	-1.09E ⁻¹⁸
X₄	1.65E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.57E ⁻⁰⁸	0.00021	-1.90E ⁻¹⁸
X₄	1.52E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.36E ⁻⁰⁸	0.00017	-1.41E ⁻¹⁸
X₄	1.24E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	1.93E ⁻⁰⁸	0.00018	-1.22E ⁻¹⁸
X₅	4.41E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	6.86E ⁻⁰⁸	0.00020	-4.84E ⁻¹⁸
X₅	4.13E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	6.43E ⁻⁰⁸	0.00015	-3.40E ⁻¹⁸
X₅	4.41E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	6.86E ⁻⁰⁸	0.00016	-3.87E ⁻¹⁸
X₆	1.52E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.36E ⁻⁰⁸	0.00032	-2.66E ⁻¹⁸
X₆	1.65E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.57E ⁻⁰⁸	0.00014	-1.27E ⁻¹⁸
X₆	1.38E ⁻¹⁸	2.99E ⁺⁰³	2.14E ⁻⁰⁸	0.00017	-1.28E ⁻¹⁸

ANEXO 07

IR DEL ALMIDON DE CASCARA DE PAPA UTILIZADO EN EL ESTUDIO



En la figura se muestra el IR del almidón de cáscara de papa en comparación tiene similitud.

Pues el almidón y la celulosa son polímeros similares.

ANEXO 08

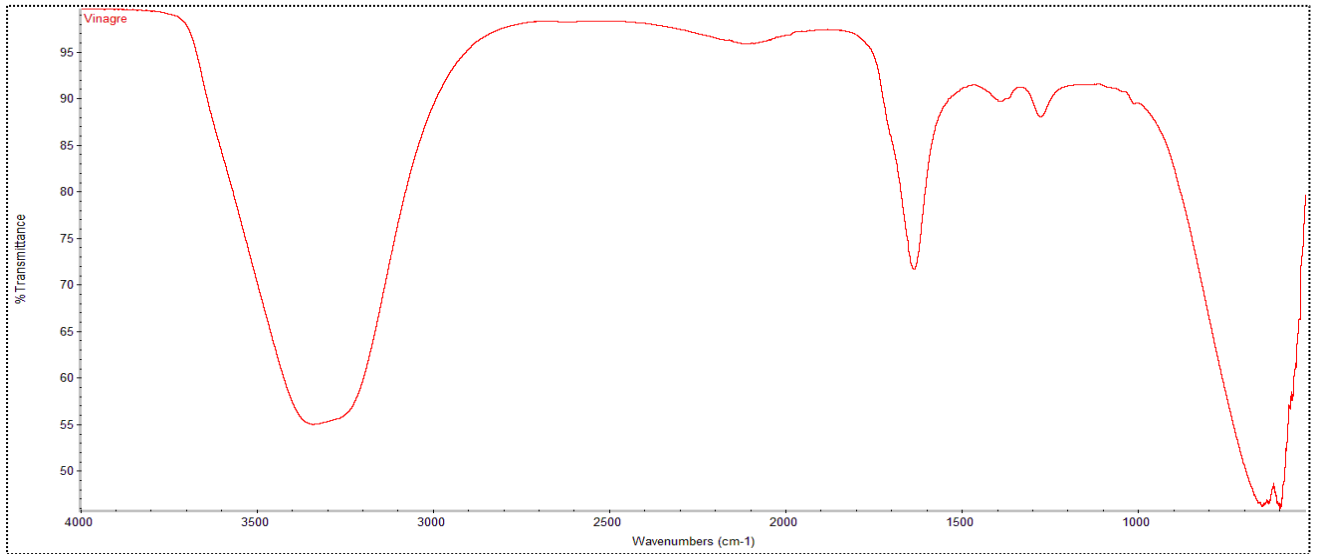
IR DEL MUCILAGO DE CASCARA DE TUNA UTILIZADO EN EL ESTUDIO



El espectro del mucilago en comparación tiene similitud al de celofán este es un polímero de la celulosa.

ANEXO 09

IR DEL VINAGRE UTILIZADO EN EL ESTUDIO



Como el vinagre solo tiene 5% de acidez el espectro indica el grupo funcional del agua.

ANEXO 10

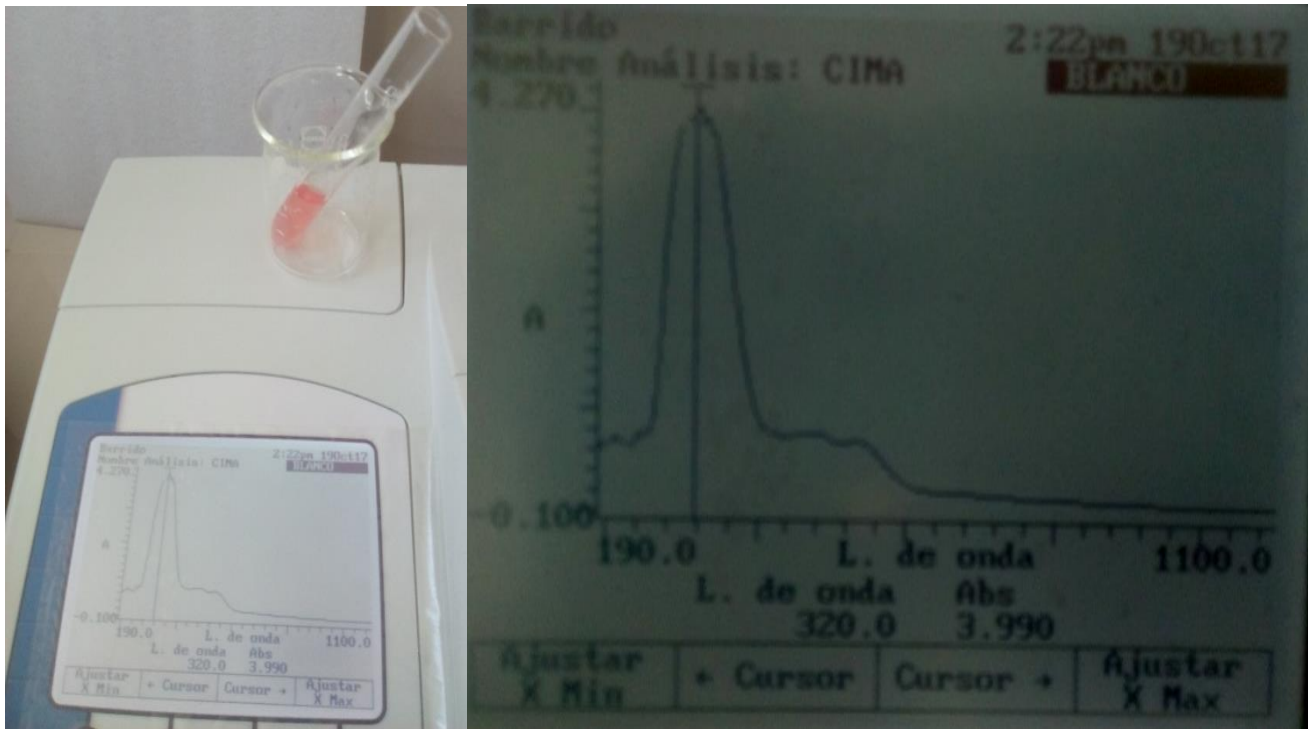
IR DE LA GLICERINA UTILIZADA EN EL ESTUDIO



El espectro de la glicerina que se utilizó en la investigación, como se puede observar es glicerina en su estado puro como indica la bibliografía.

ANEXO 11

BETALAINA DDEL MUCILAGO LIQUIDO DE CASCARA TE TUNA PURPURA



ANEXO 12

ACONDICIONAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS: ALMIDON Y MUCILAGO



ANEXO 13

RESUMEN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES A PARTIR DE MUCILAGO DE CASCARA DE NOPAL Y ALMIDÓN DE CASCARA DE PAPA



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS



ANEXO 14

OBSERVACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS



CARACTERIZACION DE LAS PELICULAS
COMESTIBLES



PROCESAR DATOS PARA INTERPRETAR
RESULTADOS