



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

Departamento de
Exámenes Profesionales

**CARACTERIZACION DE PELICULAS COMPUESTAS DE
QUITOSAN PARA PROPONER UNA ALTERNATIVA QUE
ALARGUE LA VIDA UTIL DEL AGUACATE.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

DAMIAN LOPEZ VEGA

ASESORA:

M. en C. SUSANA PATRICIA MIRANDA CASTRO.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Caracterización de películas compuestas de quitosán para proponer una alternativa que alargue la vida útil del aguacate.

que presenta el pasante: Damián López Vega
con número de cuenta: 9305693-7 para obtener el título de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de Septiembre de 2003

- PRESIDENTE MC. Susana Patricia Miranda Castro
VOCAL IBQ. Leticia Figueroa Villarreal
SECRETARIO MC. María de la Luz Zambrano Zaragoza
PRIMER SUPLENTE Dra. Andrea Trejo Márquez
SEGUNDO SUPLENTE IA. Araceli Ulloa Saavedra

Agradecimientos.

A Dios:

Por que aunque te llaman con diferentes nombres eres el creador de la materia y la energía, elementos esenciales de la vida.

A mis padres:

Por que solo ustedes saben como y cuanto apoyar a sus hijos en los sueños que persiguen, gracias por que nadie merece mayor reconocimiento de esta meta que ustedes.

A mi familia:

Por que López Vega (Reyes) significa orgullo, compromiso y solidaridad, este logro es de todos.

A mi asesora:

Por que personas que antes de ser profesores son amigos, es lo necesario para concluir un proyecto.

A mis amigos:

Por que el hecho de poderlos llamar así es suficiente, en especial a los Huaricochas.

A mis profesores:

Por la paciencia y conocimientos recibido en las aulas para culminar este objetivo.

A la UNAM:

Por dejarme ser parte del espíritu puma que se esfuerza por su raza.

Lo importante no es llegar a la cima, sino en ningún momento dejar de subir.

INDICE.

	Pag.
1 Introducción.	1
2 Antecedentes.	3
2.1 El aguacate.	3
2.1.1 Definición.	3
2.1.2 Composición química.	3
2.1.3 Aporte nutrimental.	3
2.1.4 Producción mundial.	4
2.1.5 Distribución del aguacate mexicano.	5
2.1.6 Factores a controlar durante la maduración.	5
2.2 Actividad de agua.	6
2.2.1 Importancia.	6
2.2.2 Definición.	7
2.2.3 Relación de la actividad de agua con la humedad relativa.	7
2.2.4 Determinación en alimentos.	8
2.3 Empaques biodegradables.	10
2.3.1 Definición.	10
2.3.2 Función.	10
2.3.3 Beneficios.	10
2.3.4 Materiales formadores de películas.	11
2.3.4.1 Proteínas.	11
2.3.4.2 Carbohidratos.	11
2.3.4.3 Lípidos.	12
2.4 Películas de quitosán.	12
2.4.1 Quitina.	12
2.4.2 Quitosán.	13
2.4.2.1 Origen.	13
2.4.2.2 Estructura.	14
2.4.2.3 Propiedades.	14
2.4.2.4 Aplicaciones.	15

2.4.2.5 Películas de quitosán para recubrir alimentos.	17
2.4.3 Aditivos de películas.	17
2.4.3.1 Surfactantes.	17
2.4.3.2 Materiales hidrofóbicos.	18
2.4.3.3 Plastificantes.	18
2.5 Propiedades de barrera de películas de quitosán.	19
2.5.1 Permeabilidad al oxígeno.	19
2.5.2 Permeabilidad al etileno.	20
2.5.3 Permeabilidad al vapor de agua.	20
2.5.3.1 Método ASTM E96-80.	21
2.5.3.2 Modelos de corrección para películas hidrofóbicas.	21
2.6 Propiedades mecánicas.	22
2.6.1 Definiciones.	23
3 Objetivos.	24
4 Metodología.	25
4.1 Cuadro metodológico.	25
4.2 Descripción de actividades.	26
5 Resultados y discusión.	33
5.1 Objetivo particular 1.	33
5.1.1 Evaluación de la actividad de agua (A_w) del aguacate.	33
5.1.2 Determinación de las condiciones experimentales para evaluar la Permeabilidad al Vapor de Agua (WVP) de las películas compuestas de quitosán.	33
5.2 Objetivo particular 2.	36
5.2.1 Obtención del quitosán.	36
5.2.2 Elaboración de películas compuestas de quitosán.	36
5.2.3 Determinación del espesor de las películas.	36
5.2.4 Evaluación de la Permeabilidad al vapor de Agua (WVP) de las diferentes películas compuestas de quitosán.	38
5.3 Objetivo Particular 3.	53
5.3.1 Preparación de las muestras.	53

5.3.2 Evaluación de las propiedades mecánicas.	53
6 Conclusiones.	60
6.1 Recomendaciones.	62
7 Bibliografía.	63
8 Anexos.	73

Índice de tablas.

No	Descripción.	Pag.
1	Composición química promedio del aguacate.	3
2	Formulación de las películas compuestas de quitosán.	27
3	Condiciones experimentales para la medición de la permeabilidad al vapor de agua de las películas a temperatura de refrigeración.	29
4	Condiciones experimentales para la medición de la permeabilidad al vapor de agua de las películas a temperatura ambiente.	29
5	Resultados de actividad de agua de aguacate en estado de madurez fisiológica.	33
6	Humedades relativas de soluciones saturadas de sulfato y cloruro de potasio.	34
7	Resultados de la medición de espesor de las películas compuestas de quitosán.	37
8	Espesores reportados bibliográficamente de diferentes películas, de diversos materiales.	37
9	Valores de permeabilidad obtenidos por diferentes autores.	51
10	Propiedades mecánicas de diferentes películas reportadas por diversos autores.	59

Índice de figuras.

No	Descripción.	Pag.
1	Principales países productores de aguacate en el planeta	4
2	Estructura de la quitina.	13
3	Estructura del quitosán que muestra al grupo amino formado por la desacetilación química o enzimática de la quitina.	14
4	Modelo de experimentación cuando la humedad relativa interna es mayor que la humedad relativa externa (modelo de almacenamiento del aguacate).	31
5	Modelo de experimentación cuando la humedad relativa externa es mayor que la humedad relativa interna.	31
6	Condiciones experimentales de humedad relativa 1.	35
7	Condiciones experimentales de humedad relativa 2.	35
8	Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate.	38
9	Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate.	39
10	Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.	39
11	Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.	40
12	Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate a temperatura ambiente.	41
13	Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate a temperatura ambiente.	41

14	Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán a temperatura ambiente.	42
15	Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán a temperatura ambiente.	42
16	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate.	43
17	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate.	44
18	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.	45
19	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.	45
20	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente.	46
21	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente.	47
22	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente y neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.	48
23	Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente y neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.	48
24	Gráfica de resultados de elongación de películas compuestas de quitosán no neutralizadas.	54
25	Gráfica de resultados de elongación de películas compuestas de	54

	quitosán neutralizadas.	
26	Gráfica de resultados de fuerza de tensión de películas compuestas de quitosán no neutralizadas.	56
27	Gráfica de resultados de fuerza de tensión de películas compuestas de quitosán neutralizadas.	56
28	Gráfica de resultados de modulo elástico de películas compuestas de quitosán no neutralizadas.	57
29	Gráfica de resultados de modulo elástico de películas compuestas de quitosán neutralizadas.	58

1 Introducción.

El aguacate de la variedad Hass es el fruto denominado *Persea americana* *mills*, cuya piel es de textura rugosa o semirugosa. Esta característica es uniforme en toda la superficie y su forma es desde semiredonda hasta aplanada. Su color característico del verde mate al negro y su pulpa es verde amarillenta, suave y sin fibra (tipo mantequilla)⁽⁴⁷⁾.

México ocupa el primer lugar, en el ámbito mundial, en la producción de aguacate variedad Hass con una superficie cultivada de 99,849 hectáreas y una producción aproximada de 933,337 toneladas métricas al año. Sin embargo esto no se ve reflejado en el volumen de exportación definitiva, ya que ocupó el 11º lugar en este rubro a nivel mundial en el año 2000 y esto es debido, entre otras cosas, a la escasa tecnología post-cosecha que con la que se cuenta en nuestro país⁽²¹⁾.

Una característica del aguacate es que se trata de un fruto climatérico, con alta producción de etileno, que de igual forma es altamente sensible al gas, disparando su maduración; esto puede ser benéfico en tanto se acentúan sus características organolépticas (sabor, color, firmeza) y es atractivo para el consumidor, aunque se disminuye la vida útil para el distribuidor⁽²¹⁾.

Por lo que una alternativa para alargar la vida útil de los frutos son las películas plásticas empleadas como empaque. Existen las que son elaboradas a base de petróleo, aunque han tenido un amplio uso en todo el mundo y se ha incrementado debido a sus aplicaciones, el tratamiento de desperdicios plásticos ha causado serios problemas por la dificultad para degradarlos. Por lo tanto, el desarrollo de nuevos empaques que puedan ser degradados por microorganismos en el suelo y en los mares son de importancia considerable. Un material alternativo para este tipo de empaques puede ser un derivado de la quitina, la cual es muy abundante en la biosfera⁽³¹⁾.

La quitina es el mayor componente de la estructura del exoesqueleto de invertebrados y de la pared celular de hongos. La biodegradación de la quitina es muy lenta en los desperdicios del caparazón de crustáceos y grandes cantidades acumuladas de desechos por el procesamiento de los crustáceos ha llamado la atención de la industria procesadora de alimentos marinos⁽²⁴⁾.

Por otro lado el quitosán es el principal derivado de la quitina y se trata de un polisacárido catiónico de alto peso molecular, que es soluble en diluciones de ácidos orgánicos y teóricamente puede ser usado como un material de recubrimiento⁽⁶⁹⁾.

Las películas de quitosán son duras, durables y difíciles de rasgar, estas propiedades se pueden modificar con la incorporación de aditivos. Es un material biocompatible, con capacidad antimicrobiana y biodegradable, así como moderadamente permeable al vapor de agua debido a su propiedad hidrofílica. Son buenas barreras al oxígeno lo que permite crear atmósferas modificadas en el fruto si éste es recubierto⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

Esta es la razón por la que el objeto de estudio de este trabajo fue la caracterización de diferentes películas compuestas de quitosán con la adición de coadyuvantes como es el glicerol, el tween 80 y la cera de abeja⁽²⁵⁾. Se utilizaron como modelo para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua las condiciones de almacenamiento del aguacate en estado de madurez fisiológica, evaluando también las propiedades mecánicas de las mismas películas⁽³⁾⁽⁴⁾.

Con ésto se pretende proponer una alternativa para alargar la vida útil del aguacate con lo que se tendría una perspectiva más amplia para la comercialización de este producto en el mercado nacional e internacional.

2 Antecedentes.

2.1 El aguacate.

2.1.1 Definición.

En general todos los aguacates cultivados pertenecen al género *Persea* y forman parte de las Lauráceas. De tal forma que a este fruto se le considera dentro de la especie *Persea americana Miller*. El aguacate es una drupa, es decir constituido de una sola semilla, cubierta por una pulpa grasa; ésta ofrece colores que van desde amarillo brillante hasta crema, generalmente en tonalidades verdosas en las proximidades de la cáscara⁽⁵³⁾.

2.1.2 Composición química.

Desde el punto de vista nutricional, el aguacate es una especie rica en compuestos como grasas, vitaminas, aminoácidos y otros.

En la tabla 1 se muestra la composición promedio del aguacate en general.

Tabla 1. Composición química promedio del aguacate.

PORCENTAJE	HUMEDAD	PROTEINA	GRASA	CARBOHIDARTOS
AGUACATE	67.5	1.6	23.6	5.7

Fuentes: Pluma Luna Ignacio y cols⁽⁵³⁾.

2.1.3 Aporte nutrimental.

El fruto tiene un alto contenido calórico, tres veces más elevado que el plátano y una vez y media más que la carne, esto se debe al alto contenido de aceites que en ocasiones es mayor al 20% radicando también el tipo de ácidos grasos que posee, siendo éstos de un alto grado de insaturación, los principales; el ácido oleico, palmitico, linoleico y palmitoleico.

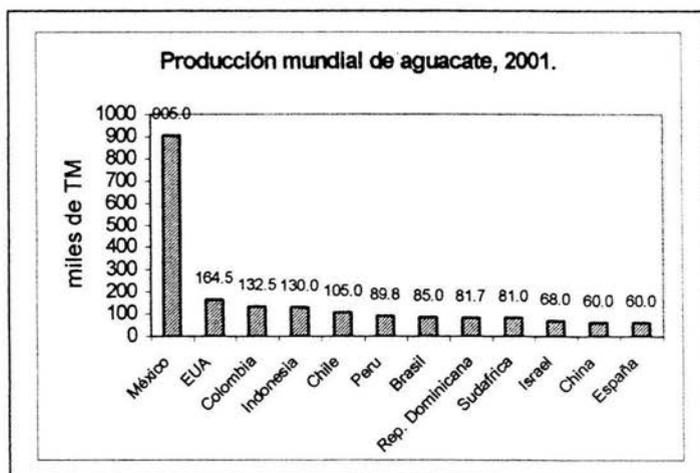
En lo referente a vitaminas, el aguacate contiene un elevado contenido de vitaminas A, B y E, en comparación con otros frutos. En promedio el contenido de carbohidratos es de 4.5% que es la mitad de lo que posee la mayoría de los frutos, conteniendo carbohidratos poco comunes de 7 y 8 átomos de carbono.

Los principales aminoácidos en el fruto son la asparagina, ácido aspártico, glutamina, serina, treonina, alanina y valina(53).

2.1.4 Producción mundial.

México se mantiene por mucho como el principal país productor de Aguacate del planeta, como se puede apreciar en la figura 1, con un volumen preliminar obtenido en el 2001 de 905 mil TM, lo que representa alrededor del 37% del total mundial obtenido en dicho año. Los Estados Unidos, Colombia, Indonesia y Chile le siguieron en orden de importancia. Michoacán es por mucho el principal estado productor de aguacate de nuestro país(21).

Figura 1 . Principales países productores de aguacate en el planeta.



Fuente: FAO(21)

Los promedios de producción por hectárea van de 5 a 10.5 ton/ha con una media anual nacional de 7.6, correspondiendo al estado de Sinaloa, Jalisco y Michoacán los valores mas altos de 9.9-10.7, mientras que Guanajuato y Puebla con 6.0 y Chiapas y Morelos con 5.0 ton/ha⁽¹²⁾.

2.1.5 Distribución del aguacate mexicano.

A pesar de que México es por mucho el principal país productor de aguacate del planeta, con producto de la más alta calidad, tan sólo alrededor del 6% del total se destina al mercado externo, aunque es importante señalar que las ventas mexicanas del fruto habían venido registrando alzas continuas importantes en los últimos años, particularmente por los aumentos que se han registrado en la producción nacional del fruto. La apertura del mercado de Estados Unidos a la fruta de aguacate mexicano podría tener impactos económicos a corto y largo plazo en los productores norteamericanos. Con el incremento de la cantidad de aguacate en los mercados norteamericanos, el precio de éstos podría reducirse, beneficiándose en todo ello los consumidores, quienes podrían disfrutar de la mejor calidad del fruto del aguacatero a menor precio en los meses de invierno⁽¹²⁾.

En México los mercados más importantes de aguacate son en los estados de Puebla, Sinaloa, Coahuila, Nuevo León, Chiapas, México, Distrito Federal, Jalisco, Quintana Roo y Guerrero, con un consumo per cápita cerca de 10 Kg.

2.1.6 Factores a controlar durante la maduración.

Las frutas se dividen en dos grupos de acuerdo con su producción de etileno, que es gas conocido como hormona del crecimiento, frutas climatéricas y no climatéricas. En las climatéricas, la maduración esta asociada con un incremento en la producción de etileno y el tratamiento con etileno puede acelerar la maduración. En forma contraria en las frutas no climatéricas no existe un

incremento fuerte en la producción de etileno asociado con la maduración y el etileno no desencadena la maduración.

Los frutos climatéricos aun adheridos a la planta, crecen hasta un momento a partir del cual se inicia un proceso de maduración, cambios de color, sabor y textura, acompañado por un cambio en la tasa de respiración, a este aumento en la respiración se le llama climaterio y señala el inicio de la senescencia. Mientras que los frutos no climatéricos parecen no presentar elevación respiratoria aun tras la recolección⁽²¹⁾.

Al aguacate se le agrupa entre los frutos llamados climatéricos. Por lo que la manipulación indirecta de las reacciones fundamentales en un fruto puede lograrse mediante el control de las actividades enzimáticas, la concentración de gases y el control de temperaturas de almacenamiento⁽⁵³⁾.

2.2 Actividad de agua.

2.2.1 Importancia.

La presencia del agua en el alimento y su concentración determinan en alto grado su sabor y digestibilidad, así como la estructura física y la capacidad de manejo técnico del material. Sin embargo, y lo que es más importante, casi todos los procesos de deterioro que se realizan en los alimentos reciben influencia, en una u otra forma, de la concentración y movilidad del agua en este alimento. Como una orientación aproximada, podría decirse que independientemente de la composición de los materiales alimenticios, cuando hay una concentración alta de agua, la descomposición será causada por el crecimiento y desarrollo de bacterias y mohos en los alimentos, así como por reacciones enzimáticas y no enzimáticas; a concentraciones bajas de agua, las pérdidas de calidad se producen principalmente por reacciones autoxidativas y de deterioro físico⁽⁵⁷⁾.

2.2.2 Definición.

La actividad de agua en el alimento es la proporción de la fugacidad del agua sujeta al alimento tanto como el agua pura, ambas medidas a la misma temperatura. Pero recordando que la fugacidad involucra a la presión, se corrige para las desviaciones del comportamiento ideal del coeficiente de fugacidad el cual muestra desviaciones muy pequeñas a la idealidad, con estos valores se tienen unos acercamientos a diferentes presiones para algunas temperaturas.

Por lo tanto:

$$A_w = (P_w/P^\circ)$$

Donde:

A_w = actividad de agua.

P_w = presión parcial de vapor de agua de una solución o de un alimento.

P° = presión parcial del vapor de agua pura a la misma temperatura.

Por lo tanto la actividad de agua es una relación entre dos magnitudes de las mismas dimensiones y por consiguiente constituye una medida relativa en relación a un estado "standard" tomando como término de comparación el estado standard escogido del agua pura, cuya actividad se fija como norma igual a la unidad, con lo que la actividad de agua de una solución o de un alimento es siempre inferior a 1⁽²³⁾⁽⁵⁷⁾⁽⁶⁰⁾.

La presión de la actividad de agua de los alimentos se puede atribuir a la combinación de factores como: interacción agua-alimento, fuerzas capilares y asociación de agua en sitios específicos del alimento⁽¹⁴⁾.

2.2.3 Relación de la actividad de agua con la humedad relativa.

En el equilibrio hay una igualdad entre la actividad de agua de una solución o de un alimento y la presión parcial relativa de vapor de agua ejercida por la

solución o el alimento en una atmósfera cerrada que rodee la solución o el alimento⁽⁶⁰⁾.

La humedad relativa (H.R) y la actividad de agua son dos magnitudes directamente proporcionales relacionadas por la ecuación:

$$A_w = H.R * 100$$

Donde :

A_w = actividad de agua.

H.R = humedad relativa.

2.2.4 Determinación en alimentos.

a) Basadas en las propiedades coligativas.

Asumiendo que la fugacidad del vapor de agua es aproximadamente igual a la presión, la medición directa de la presión puede usarse para medir la actividad de agua en los alimentos de una manera directa. Basadas en la depresión del punto de congelación, el método se aplica solo a alimentos líquidos y provee la actividad de agua en temperaturas cercanas a la congelación. Ofrece la ventaja de tener una buena precisión de actividades de agua a rangos altos mayores a 0.98 y pueden aplicarse a sistemas que contengan grandes cantidades de sustancias volátiles⁽¹⁹⁾.

b) Basadas en la psicometría.

Las mediciones del punto de rocío y de la depresión del bulbo húmedo por medios psicrométricos se llevan a cabo con aire e higrómetros eléctricos para poder determinar la actividad del agua. Este método no es muy recomendable utilizarlo en muestras pequeñas sino solo en almacenes refrigerados y

deseCADadores comerciales. Muchas de las limitaciones psicrométricas son: condensación de materiales volátiles, transferencia de conducción por conducción y radiación; necesitando como mínimo velocidades mayores de 3 m/h⁽¹⁹⁾.

c) Basadas en la transferencia isopiética.

En el método isopiético se llevan al equilibrio dos materiales en un sistema cerrado para poder determinar las actividades de agua. La transferencia de humedad se lleva a cabo en ambos materiales por una depresión al contacto directo de los materiales, así permitiendo el movimiento a través del espesor de una membrana micro capilar⁽¹⁹⁾⁽⁵⁵⁾.

Los cambios que se llevan a cabo principalmente en un alimento son debidos a la forma en como se encuentra el agua en éste y a la temperatura a que se encuentra expuesto. La relación existente entre el contenido de humedad de un alimento y su actividad acuosa (o humedad relativa de equilibrio) y los efectos que la temperatura tiene sobre esta relación, se ven reflejados en situaciones tan diferentes como la ventilación de bodegas y el diseño de empaques o envolturas del alimento, y los fenómenos a ellos asociados son muchos y variados.

Para el empaque de alimentos se han utilizado las películas plásticas elaboradas a base de petróleo que además han tenido un amplio uso en todo el mundo, con un incremento en sus aplicaciones, sin embargo el tratamiento de estos desechos plásticos ha comenzado a ser un serio problema debido a la dificultad de asegurar la recuperación de la tierra debido a la quema e incineración. Por lo tanto, el desarrollo de nuevos plásticos que puedan ser degradados por microorganismos en el suelo y el mar ha iniciado recientemente⁽³¹⁾.

De esta forma el uso de películas comestibles y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de productos frescos, congelados

y procesados se ha examinado durante años anteriores debido a su naturaleza biodegradable⁽²⁴⁾.

2.3 Empaques biodegradables.

2.3.1 Definición.

Las películas o empaques comestibles y biodegradables de frutos es una práctica muy antigua, con la cual se trataba de imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales. De los años 50's a la fecha se han desarrollado una gran cantidad de investigaciones sobre el tema, que se han convertido en patentes, en donde se diseñan películas o empaques específicos para cada tipo de alimento dependiendo de su naturaleza y necesidades. Un empaque comestible y biodegradable se define como una capa delgada de material formado sobre el alimento como una cubierta o colocado sobre el alimento (preformado), o entre los componentes del alimento⁽³⁶⁾.

2.3.2 Función.

Su propósito es inhibir la migración de la humedad, del oxígeno, del dióxido de carbono, de aromas y lípidos o como acarreador de ingredientes tales como antioxidantes, antimicrobianos, sabores y mejorar la integridad o las características de manejo del alimento⁽³⁶⁾.

2.3.3 Beneficios.

Pueden emplearse como barrera a gases y vapor de agua aplicándose sobre el producto o dentro del alimento, en donde permite separar componentes de actividad de agua muy diferentes. En el caso de la aplicación sobre frutos la función es restringir la pérdida de humedad o reducir la absorción de oxígeno logrando con ésto reducir la actividad respiratoria⁽²³⁾⁽³⁴⁾.

Las películas y recubrimientos comestibles biodegradables representan una alternativa de empaque sin costos ambientales.

2.3.4 Materiales formadores de películas.

Los materiales que pueden ser usados para formar películas comestibles incluyen proteínas, polisacáridos, lípidos (ceras), y sus compuestos o combinación de éstos materiales(6)(7)(10)(26)(29)(49)(50)(51)(52)(54) (59)(62)(63)(65)(68).

Las películas de proteínas han incluido colágeno, gelatina, zeína, gluten, proteínas de soya, caseína y proteínas de suero de leche, las de polisacáridos con alginatos, carrageninas y pectinatos así como las de lípidos, ácidos grasos, ésteres, ceras, triglicéridos(46)(59).

Los polisacáridos pueden impartir cohesión estructural y servir como una matriz estructural. Una proteína puede dar aumento de firmeza de la estructura ya sea por plegado ínter o intramolecular, y los lípidos para adicionar carácter hidrorepulsivo(44)(65).

2.3.4.1 Proteínas.

Las películas de proteínas son excelentes barreras a gases y pobres barreras a la humedad y plastificadas también exhiben buenas propiedades mecánicas. Las películas de proteínas son tradicionalmente utilizadas en el oriente como envolturas en carnes y vegetales(7)(44).

2.3.4.2 Carbohidratos.

Los polisacáridos también pueden formar películas comestibles. Esta clase de películas comestibles incluyen las que son a base de celulosa y sus derivados, quitosán, almidones, dextrinas, alginatos, carragenina y pectina(9)(11)(36)(38)(45)(65).

Debido a su relativa insolubilidad en estado natural, la celulosa y la quitina son químicamente tratadas para incrementar su solubilidad en agua. El alginato y la pectina requieren adición de iones de calcio para formar geles. El mecanismo de formación de películas de polisacáridos, es el rompimiento del polímero en segmentos y reformar la cadena del polímero al interior de la matriz de la película o gel. Esto es usualmente logrado por evaporación de un solvente, creando enlaces hidrofílicos con hidrógeno y/o electrolíticos y enlaces iónicos. Los polisacáridos pueden reducir los niveles internos de O₂ y elevar los de CO₂ permitiendo prolongar la vida de anaquel de los productos vegetales frescos⁽⁹⁾.

2.3.4.3 Lípidos.

En películas comestibles los lípidos que han sido usados incluyen a la cera de candelilla, cera de carnauba, parafina, monoglicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido oléico, ácido láurico, o ésteres de ácidos grasos, ácido palmítico, capríónico o behénico⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽³⁰⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁵⁴⁾⁽⁶⁵⁾.

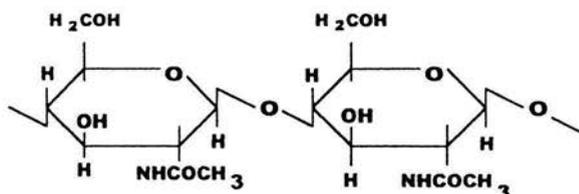
Los lípidos son las más eficientes barreras a la humedad debido a su carácter hidrofóbico⁽¹⁵⁾⁽⁶⁸⁾.

2.4 Películas de quitosán.

2.4.1 Quitina.

La quitina es un polisacárido proteico córneo, insoluble, que constituye el exoesqueleto de los Artrópodos (crustáceos, algunos moluscos e insectos) y las paredes de las células de muchos hongos y algas. La quitina es el segundo biopolímero natural más abundante después de la celulosa. La estructura química de la quitina es similar a la celulosa, como se puede ver en la figura 2, con 2 acetamido-2-dioxi-β-D-glucosa (NAG) monómeros unidos vía enlaces β(1-4)⁽²⁵⁾.

Figura 2. Estructura de la quitina.



Fuente: Torres y cols (63).

La quitina es la versión animal de la celulosa, ésta es al crustáceo como la celulosa es a los árboles. Forma un material de construcción fuerte, flexible, particularmente cuando esta combinado con proteínas, otras biomoléculas y algunos materiales inorgánicos tales como el carbonato de calcio. Debido a que la biodegradación de la quitina es muy lenta en los desperdicios de crustáceos, la acumulación de grandes cantidades de desperdicios del procesamiento de estos, ha comenzado a llamar la atención de la industria procesadora de productos del mar⁽²⁴⁾.

La quitina y el quitosán ofrecen un basto rango de aplicaciones incluyendo la bioconversión por la producción de alimentos con valor agregado, preservación de alimentos por deterioro microbiológico, formación de películas biodegradables, restablecimiento de material de desperdicio al procesar desechos de alimentos, purificación de agua así como clarificación y deacidificación de jugos de fruta, entre otras⁽²⁴⁾.

2.4.2 Quitosán.

2.4.2.1 Origen.

El quitosán es generalmente obtenido por la desacetilación de la quitina natural. Es un producto natural no tóxico y biodegradable. Este puede ser obtenido

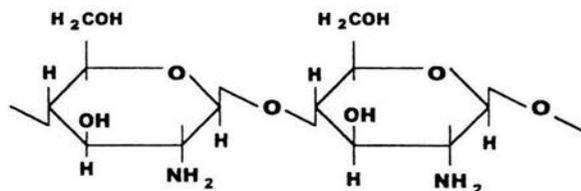
de desechos de mariscos y su composición primaria, como se observa en la figura 3, es: glucosamida, 2-amino-2-desoxi-D-glucosa. También se le llama quitosana o quitosano en español o chitosan en inglés.

2.4.2.2 Estructura.

Cuando el grado de desacetilación de la quitina excede del 50%, llega a ser soluble en soluciones ácidas acuosas y es llamada quitosán. Este es un copolímero que contiene uniones 2-acetamida-2-desoxi- β -D-glucopiranosas y residuos de 2-amino-2-desoxi-glucopiranosas al azar⁽⁴⁸⁾⁽⁶⁷⁾.

Este polímero es policatiónico, cargado positivamente a $\text{pH} < 6$ debido a la presencia de grupos amino protonados (el grupo amino del quitosán tiene un pKa de aproximadamente 6.5), el quitosán es diluido en soluciones ácidas acuosas y exhibe un carácter de polielectrolito a pH 's bajos⁽⁴⁸⁾.

Figura 3. Estructura del quitosán que muestra al grupo amino formado por la desacetilación química o enzimática de la quitina.



Fuente: Torres y cols⁽⁶³⁾.

2.4.2.3 Propiedades.

Las propiedades fisicoquímicas de la solución de quitosán teóricamente se rigen por factores, tales como el peso molecular, la temperatura, pH , fuerza iónica y grado de desacetilación. Dado que el quitosán es un producto natural no tóxico y

biodegradable además de ser soluble en agua a pH ácidos, tiene numerosas aplicaciones en la industria farmacéutica y biotecnología⁽¹⁰⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁶⁷⁾.

El quitosán puede formar capas semipermeables o películas y cubrientes que pueden modificar la atmósfera interna de los frutos y por consiguiente bajar las velocidades de respiración de los mismos.

Además el quitosán posee propiedades antimicrobianas lo cual ayudaría a mantener a los frutos libres de microorganismos logrando con esto alargar la vida útil de los frutos⁽¹⁰⁾.

2.4.2.4 Aplicaciones.

El quitosán tiene tres tipos de grupos funcionales activos, un grupo amino igual que los grupos hidroxil primario y secundario en las posiciones C-2, C-3 y C-6 respectivamente. La modificación química de estos grupos ha dado numerosos materiales útiles en diferentes campos de aplicación⁽²⁴⁾.

El quitosán ofrece un basto rango de aplicaciones incluyendo la bioconversión por la producción de alimentos con valor agregado, preservación de alimentos por deterioro microbiológico, formación de películas biodegradables, restablecimiento de material de desperdicio al procesar desechos de alimentos, purificación de agua así como clarificación y de acidificación de jugos de fruta⁽³¹⁾.

El proceso de clarificación de jugos comúnmente incluye el uso de agentes clarificantes, incluyendo gelatina, bentonita, silica sol, taninos y caseinato de potasio. La sal de quitosán que contiene cargas positivas fuertes, ha demostrado ser efectiva como agente desenturbante, también puede ser usada para controlar la acidez de los jugos de frutas, debido a estas mismas cargas parciales positivas puede funcionar efectivamente como un coagulante policatiónico en el tratamiento de aguas residuales.

El quitosán como un agente para el sistema de tratamiento de desperdicios es particularmente efectivo en la remoción de desperdicios de proteínas, el producto de la coagulación puede servir como una fuente de proteína para alimento de animales⁽³¹⁾.

De igual forma puede ser utilizado como una herramienta para la purificación de agua residual por su elevada capacidad de sorción. La capacidad de la quitina y el quitosán de formar complejos con iones metálicos ha sido explotada en Japón para la purificación de agua. El grupo amino del quitosán es de interés debido a esta habilidad de formar enlaces covalentes con iones metálicos. Un estudio de la capacidad del quitosán para inmovilizar metales ha demostrado que tiene una elevada capacidad de inmovilizar metales tales como el cobre y el vanadio⁽³¹⁾.

Los productos alimenticios de músculo son altamente susceptibles a la pérdida de sabor y desarrollo de rancidez causados por la oxidación de la elevada cantidad de lípidos insaturados. El efecto del N-carboximetilquitosan para prevenir la pérdida de sabor por calentamiento (WOF) en carne curada fue estudiada por St. Angelo y Vercelotti. Estos autores reportan que el N-carboximetilquitosan fue efectivo en el control de la WOF en un amplio rango de temperatura⁽³¹⁾.

Diferentes métodos son generalmente usados para la inmovilización de enzimas, tales como enlazamientos covalentes, enlaces electrostáticos, copolimerización, atrapamiento polimérico, interacción hidrofóbica, atrapamiento liposomal y encapsulación. El método más común es el enlazamiento covalente por medio de un polímero insoluble tal como la celulosa y la quitina⁽³¹⁾.

La investigación en la preparación y actividades fisiológicas de los oligómeros de quitina y quitosán continuamente ha atraído mucho la atención en los campos de la farmacéutica y los alimentos debido a su versátil actividad

antitumoral, efectos inmunoestimulante, efecto protector contra algunos patógenos en ratones infectados, actividad antifúngica y actividad antibacteriana⁽³¹⁾.

2.4.2.5 Películas de quitosán para recubrir alimentos.

Como la quitina y el quitosán tienen la propiedad de formar películas han sido usados ampliamente como recubrimientos de alimentos. El uso de películas de N,O-carboximetilquitina para preservar frutas por largos periodos ha sido aprovechado en Canadá y USA. Debido a esta habilidad de formar películas semipermeables, los recubrimientos de quitosán pueden ser una alternativa para modificar la atmósfera interna al igual que disminuir las pérdidas por transpiración y retardar la maduración de los frutos, además de que dichas películas contienen agentes antimicrobianos que proveen un tipo de acción al empaque, tal que preservativos liberados de la película se depositan en la superficie del alimento e inhiben el crecimiento microbiano⁽⁶⁹⁾.

Debido a la habilidad de formar películas semipermeables, las recubiertas de quitosán son una expectativa para modificar la atmósfera interna así como disminuir la pérdida por transpiración en frutas, sin embargo aunque Wong y cols, además de Butler y cols, observaron una buena barrera a la permeación de oxígeno también detectaron relativamente características pobres como barrera al vapor⁽³¹⁾.

Por lo tanto, incorporando materiales grasos, la hidrofobicidad se incrementa produciendo una película compuesta resistente a la transmisión de agua, por lo que la adición de coadyuvantes en la formulación de la película es una opción a considerar.

2.4.3 Aditivos de películas.

2.4.3.1 Surfactantes.

Los surfactantes han recibido poca atención como potenciales plastificantes. Muchos surfactantes han sido probados y han sido reportados como poco efectivos. No obstante, los surfactantes iónicos tienen potenciales para actuar como plastificantes rompiendo los enlaces hidrógeno e incrementando la carga de repulsión entre moléculas de proteínas adyacentes⁽²⁰⁾.

2.4.3.2 Materiales hidrofóbicos.

Se ha demostrado que cuando se incrementa el grado de saturación de los materiales hidrofóbicos la velocidad de transferencia al vapor de agua (WVTR – Water Vapor Transmission Rate) desciende, por consiguiente las películas que contienen ácido esteárico o lípidos sólidos, tales como la cera de abeja, parafina, aceite de palma hidrogenado, cera de candelilla, cera de carnauba son benéficas para bajar la permeabilidad⁽⁵⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁵¹⁾⁽⁶⁵⁾.

2.4.3.3 Plastificantes.

Un plastificante es definido como una sustancia no volátil, de alto punto de ebullición, no separadora de sustancias, que cuando se adiciona a otro material cambia las propiedades físicas y/o mecánicas de dicho material⁽⁴⁴⁾.

La característica quebradiza de películas comestibles, es debido a las extensas fuerzas intermoleculares que se puede superar con la adición de un plastificante en la formulación. El plastificante reduce las fuerzas intermoleculares a lo largo de cadena polimérica, y los grupos polares (-OH) del plastificante desarrollan puentes de hidrógeno a lo largo de la cadena remplazando las interacciones polímero-polímero⁽²¹⁾⁽⁶³⁾.

Los plastificantes no solo proveen de propiedades mecánicas a la película, sino también incrementan la permeabilidad de la misma dado que la movilidad de la cadena se incrementa, los coeficientes de difusión también se incrementan,

además de que se incrementa la sorción de moléculas polares tales como el agua, resultando en altas permeabilidades al vapor de agua⁽⁴⁴⁾⁽⁶¹⁾.

El glicerol es el más ampliamente reportado en la literatura como el mejor plastificante⁽¹³⁾⁽²⁰⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁶⁸⁾, esto puede verse reflejado dada su hidrofiliidad y peso molecular respecto a los demás plastificantes. La hidrofiliidad de los plastificantes está en el siguiente orden glicerol > sorbitol > polietilenglicol⁽²⁶⁾.

Los aditivos son empleados para modificar las propiedades de barrera, como puede ser al oxígeno, al etileno y al vapor de agua, así como las propiedades mecánicas de las películas, por ejemplo los plastificantes reducen las fuerza intermoleculares a lo largo de cadena polimérica, dando como resultado un incremento en la movilidad de dichas cadenas y por consiguiente películas más flexibles aumentando la permeabilidad al vapor de agua debido a que se reducen las fuerzas intermoleculares e incrementan el volumen libre del polímero; por consiguiente, hay un gran espacio para que el agua y otras moléculas migren⁽⁶¹⁾.

Es por esto que se deben determinar de una forma alterna las propiedades de barrera y las propiedades mecánicas.

2.5 Propiedades de barrera de películas de quitosán.

2.5.1 Permeabilidad al oxígeno.

El quitosán es un componente de interés potencial para la elaboración de películas comestibles porque tiene excelentes propiedades de barrera al oxígeno.

La permeabilidad al oxígeno es importante conocerla en recubrimientos biodegradables para frutas debido a que ésta debe ser lo suficiente para no asfixiar al producto, pero mínimo para detener las reacciones oxidativas⁽³¹⁾⁽⁶¹⁾.

Algunos autores como Butler y cols⁽⁹⁾ han determinado la permeabilidad al oxígeno de películas de quitosán al 3% a 2 concentraciones de glicerina utilizando un equipo Mocon OX-Tran 1000, que opera de acuerdo al método ASTM D 3985-81, obteniendo un coeficiente de permeabilidad al oxígeno promedio de 4.7×10^{-5} +/- 3.4×10^{-5} cc/m.dia.atm, cuyo valor es similar a películas de cloruro de polivinildieno(PVCD), que es comúnmente usado como barrera al oxígeno y mayor a las películas del copolímero etilen vinil alcohol(EVOH).

2.5.2 Permeabilidad al etileno.

El etileno es un gas conocido como la hormona universal de la maduración, interviene en el proceso de maduración y otros procesos fisiológicos de la planta, tiene un efecto desverdizante, es decir favorece la coloración.

Caner y cols⁽¹⁰⁾ evaluaron el coeficiente de permeabilidad al etileno de películas de quitosán obteniendo valores promedio de 2.3×10^{-5} +/- 9.8×10^{-5} cc/m.dia.atm. concluyendo que el coeficiente de permeabilidad al etileno es inversamente proporcional a la concentración de plastificante.

2.5.3 Permeabilidad al vapor de agua.

Las películas de quitosán exhiben relativamente bajas propiedades de barrera a la humedad⁽⁹⁾.

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es una medición de la tendencia de absorber, transferir, y desorber vapor de agua de un lado de la película al otro, donde los dos lados de la película son expuestos a diferentes concentraciones del permeante. Específicamente, la cantidad de un permeante dado a ser transferido por unidad de tiempo a través de una área de la película por unidad de fuerza motriz del permeante, por espesor. Las dimensiones son: cantidad de permeante/ tiempo · área · fuerza motriz / espesor de la película⁽³⁶⁾.

Los mecanismos para la predicción de transporte de agua a través de las películas hidrofílicas como las películas de quitosán son extremadamente complejos. La complejidad es debida a las isothermas no lineales de sorción, ya que la difusividad depende del contenido de agua. La transmisión de vapor de agua varía no linealmente con las presiones parciales de vapor de agua. Si las películas son catiónicas y altamente hidrofílicas, el agua interactúa con la matriz del polímero e incrementa la permeación del vapor de agua⁽⁹⁾.

2.5.3.1 Método ASTM E96-80.

La determinación de permeabilidad al vapor de agua de materiales como: papel, películas plásticas, hojas de otros materiales como plástico, madera, etc. puede llevarse a cabo por medio del método ASTM E96-80. Este método es limitado para muestras con un espesor menor a 32 mm y se divide en dos métodos básicos para determinar la permeancia (perm): el método del desecante y el método del agua; ambos incluyen 2 variantes, mientras en un lado se tiene una humedad baja en el otro se tiene una humedad alta. Las condiciones de experimentación deben ser seleccionadas lo mas parecidas a las condiciones de uso real⁽⁴⁾.

2.5.3.2 Modelos de corrección para películas hidrofílicas.

Para el método ASTM E96-80 el espacio de aire entre la película y la superficie del desecante dentro de la cámara de prueba es considerado como una resistencia despreciable al transporte de vapor de agua. Este método aparentemente funciona bien para películas que presentan una bajas Velocidad de transmisión al Vapor de Agua (WVTR). Sin embargo esto no es cierto para películas a base de proteínas y polisacáridos que generalmente se caracterizan por valores altos de WVTR⁽²⁷⁾.

Con ésto se crea la necesidad de utilizar modelos que determinen la permeabilidad al vapor de agua efectiva (WVPe) para películas hidrofílicas, de esta forma Schwartzberg trató el problema como difusión a través de aire estancado, excepto que simplificó la expresión considerando una difusión contraequimolar en la celda de prueba e ignoró el flujo convectivo inducido por la difusión⁽³⁵⁾.

Por su parte McHugh y *cols* sugieren el uso del método corregido para WVP para cuantificar el gradiente de presiones parciales en el aire estancado, que involucra el clásico cálculo de difusión de vapor de agua a través de aire para calcular la transferencia de masa a través de aire estancado en la cámara de prueba, ya que errores de hasta 35% fueron encontrados cuando el método de corrección no es aplicado⁽⁴³⁾. De igual forma Gennadios y *cols* reporta errores en la medición de hasta un 45% utilizando este mismo criterio de corrección⁽²⁷⁾.

2.6 Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas, es decir la resistencia a esfuerzos mecánicos de tensión y compresión depende del tipo de material con el que se forma la película y específicamente de su cohesión estructural. La cohesión es el resultado de la habilidad del polímero para formar fuertes y numerosos enlaces moleculares entre cadenas poliméricas, de este modo disminuyendo la separación y aumentando así su cohesividad⁽³⁹⁾.

Las propiedades mecánicas también están directamente relacionadas con las condiciones de formación de la película: tipo de proceso de fabricación, polaridad del solvente y su pureza, de la velocidad de enfriamiento o evaporación del solvente, de la técnica empleada para producir la película y/o recubrimiento: rociado, esparcimiento, sobre un soporte o sobre el alimento⁽³⁹⁾.

2.6.1 Definiciones.

La elongación que se define como el porcentaje de incremento en la longitud de la muestra desde el punto inicial de aplicación de la carga hasta el punto de ruptura de la misma en una prueba de tensión⁽³⁾⁽¹⁵⁾.

La fuerza de tensión que expresa la fuerza máxima desarrollada en una película durante una prueba de tensión. Las unidades de dimensión son: fuerza / área de sección transversal⁽³⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

El módulo de elasticidad definida como la carga por unidad de área transversal requerida para elongar la película el 1% en donde la pendiente se mantiene constante en una curva de fuerza – tensión. Las unidades de dimensión son: fuerza/ área de sección transversal * tiempo⁽³⁾.

3 Objetivos.

Objetivo general.

Caracterización física y química de películas compuestas de quitosán, evaluando sus propiedades de permeabilidad al vapor de agua y mecánicas para proponer un método de conservación alternativo que alargue la vida útil del aguacate.

Objetivo particular 1.

Determinar experimentalmente la actividad de agua (A_w) del aguacate en estado de madurez fisiológica, para establecer las condiciones de experimentación posteriores.

Objetivo particular 2.

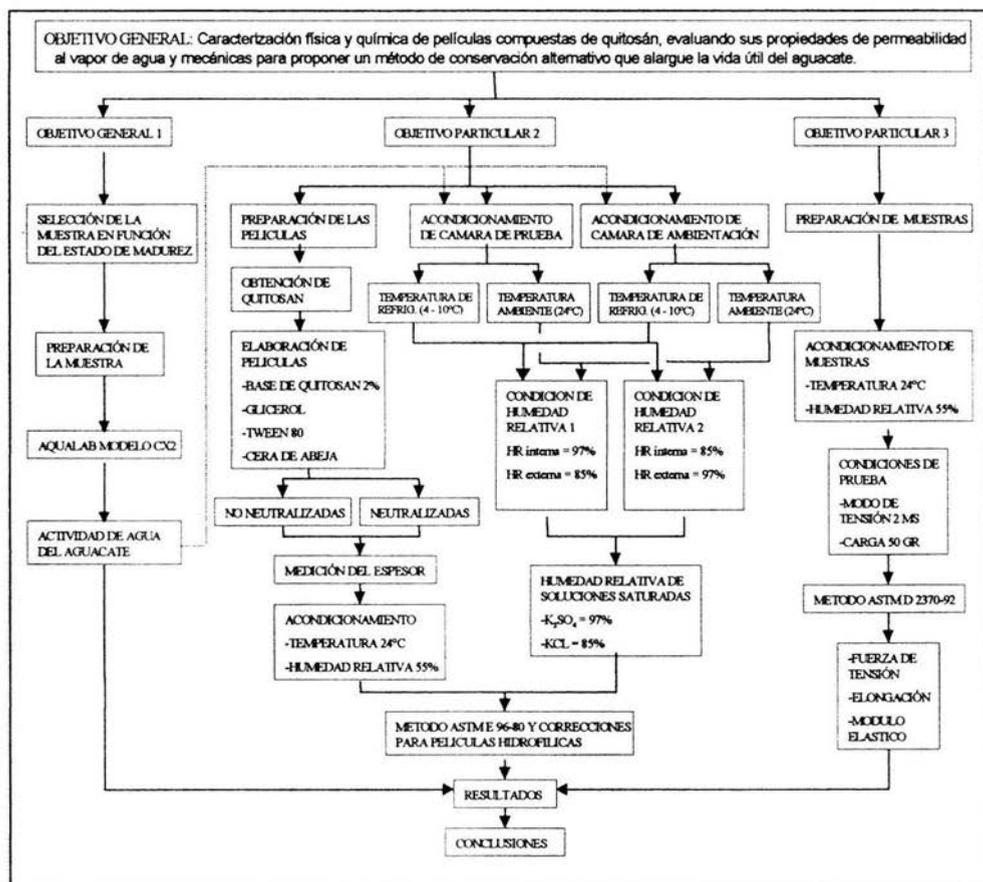
Evaluar la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas compuestas de quitosán, siguiendo las recomendaciones del método ASTM E 96-80 y modelos de corrección para películas hidrofílicas, empleando como modelo las condiciones de almacenamiento del aguacate, en sentido inverso del permeante y a temperatura ambiente para seleccionar la formulación más adecuada que alargue la vida útil del aguacate.

Objetivo particular 3.

Evaluar las propiedades mecánicas, fuerza de tensión, elongación y módulo de elasticidad, de las películas de quitosán compuestas utilizando un texturómetro en base al método ASTM D 2340-92, para seleccionar la formulación más adecuada que alargue la vida útil del aguacate.

4 Metodología.

4.1 Cuadro metodológico.



4.2 Descripción de actividades.

4.2.1 Objetivo particular 1.

Actividad 4.2.1.1 Evaluación de la actividad de agua (A_w) del aguacate.

Se seleccionaron aguacates variedad *Hass* en estado de madurez fisiológica obtenidos de la central de abasto de Atizapán de Zaragoza, Edo de México, los cuales fueron lavados y despulpados para realizar la determinación de actividad de agua (A_w) en un Aqualab modelo CX2.

La pulpa de varios aguacates se trituro y se homogeneizó. Se siguieron las instrucciones de llenado del Aqualab y se procedió a tomar las lecturas de actividad de agua. Esta prueba se realizó por triplicado.

Actividad 4.2.1.2 Determinación de las condiciones experimentales para evaluar la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas compuestas de quitosán.

Las condiciones de experimentación fueron las siguientes: Sabiendo que las condiciones óptimas para almacenar los aguacates son una temperatura de 4 a 10°C y una HR = 85% según Ibar(32) y la A_w del aguacate previamente determinada por el Aqualab, se establecieron dos condiciones de experimentación; la primera a temperatura de refrigeración (4-10°C) con una humedad relativa de 85% en la cámara de ambientación y una humedad relativa correspondiente a la actividad de agua del aguacate en la cámara de prueba. La segunda a temperatura ambiente (25°C) y las mismas condiciones de humedad relativa. Estas condiciones de humedad relativa fueron invertidas para observar el efecto de transmisión de vapor de agua en ambas temperaturas.

4.2.2 Objetivo particular 2.

Actividad 4.2.2.1 Obtención del quitosán.

Se obtuvo el quitosán a partir de quitina comercial SIGMA por desacetilación química con una solución de hidróxido de sodio al 50%₍₉₎₍₁₀₎₍₃₁₎.

Actividad 4.2.2.2 Elaboración de películas compuestas de quitosán.

Se elaboraron soluciones de quitosán al 2% p/v como solución control y posteriormente se les adicionó a cada una de las soluciones el glicerol, el tween 80 y la cera de abeja de acuerdo al diseño que se muestra en la tabla 2, donde el Si indica que se incorporó el aditivo en el porcentaje mencionado en la parte inicial de la columna y el No indica que no se incorporó dicho aditivo.

Tabla 2. Formulación de las películas de compuestas de quitosán.

PELÍCULA	Quitosán 2%	Cera de abeja 0.1%	Glicerol 0.3%	Tween 80 0.6%
QN	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>No</u>	<u>No</u>
QN-C	<u>Si</u>	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>No</u>
QN-G	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>Si</u>	<u>No</u>
QN-T	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>No</u>	<u>Si</u>
QN-C-G	<u>Si</u>	<u>Si</u>	<u>Si</u>	<u>No</u>
QN-C-T	<u>Si</u>	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>Si</u>
QN-G-T	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>Si</u>	<u>Si</u>
QN-C-G-T	<u>Si</u>	<u>Si</u>	<u>Si</u>	<u>Si</u>

Para la elaboración de la solución de quitosán, éste se adicionó en una solución de ácido acético al 1% a temperatura ambiente con agitación, manteniendo estas condiciones por 20 minutos₍₉₎₍₁₀₎₍₃₁₎.

De esta manera se preparó la solución base de las otras soluciones dando 10 minutos de agitación para la incorporación de cada aditivo; excepto para la cera de abeja, ya que para la incorporación de ésta se utilizó un homogenizador Silverson L4R por 15 minutos. Las soluciones fueron degasificadas, posteriormente cada solución se proyectó en una superficie plana y nivelada de vidrio, previamente desengrasada con alcohol etílico, se dejaron evaporar en condiciones ambientales (25°C y 55% de humedad relativa) durante 24 horas, obteniéndose así las películas.

Se prepararon las mismas películas formuladas en la tabla 2 y estas películas una vez formadas, "in situ" se neutralizaron con una solución de NaOH 1N, lavándolas posteriormente con agua hasta eliminar el álcali. Finalmente las películas fueron desmoldadas y almacenadas durante 24 horas a temperatura y humedad relativa ambiente (25°C y 55% de humedad relativa).

Actividad 4.2.2.3 Evaluación del espesor de las películas.

Se evaluó el espesor de las películas de acuerdo a las recomendaciones del método ASTM D1005-95, con ayuda de un micrómetro marca Mitutoyo modelo Digimatic con una resolución de 0.001mm.

Actividad 4.2.2.4 Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las diferentes películas compuestas de quitosán.

Se evaluó la permeabilidad al vapor de agua (WVP) utilizando el método ASTM E96-80 y las condiciones de las tablas 3 y 4. Se utilizaron desecadores como cámaras de ambientación y frascos de 80 ml de capacidad como cámaras de prueba. Las cámaras de ambientación se equilibraron por 24 horas previas a la experimentación con las condiciones de temperatura y humedad relativa determinadas.

Tabla 3. Condiciones experimentales para la medición de la permeabilidad al vapor de agua de las películas a temperatura de refrigeración.

TEMPERATURA REFRIGERACIÓN.		
8 PELICULAS	NO NEUTRALIZADAS	CONDICIÓN HR 1 HR int = A_w AGUACATE HR ext = HR almacenamiento de aguacate.
		CONDICIÓN HR 2 HR int = HR almacenamiento de aguacate. HR ext = P_v AGUACATE
	NEUTRALIZADAS	CONDICIÓN HR 1 HR int = A_w AGUACATE HR ext = HR almacenamiento de aguacate.
		CONDICIÓN HR 2 HR int = HR almacenamiento de aguacate. HR ext = P_v AGUACATE

Tabla 4. Condiciones experimentales para la medición de la permeabilidad al vapor de agua de las películas a temperatura ambiente.

TEMPERATURA AMBIENTE.		
8 PELICULAS	NO NEUTRALIZADAS	CONDICIÓN HR 1 HR int = A_w AGUACATE HR ext = HR almacenamiento de aguacate.
		CONDICIÓN HR 2 HR int = HR almacenamiento de aguacate. HR ext = P_v AGUACATE
	NEUTRALIZADAS	CONDICIÓN HR 1 HR int = A_w AGUACATE HR ext = HR almacenamiento de aguacate.
		CONDICIÓN HR 2 HR int = HR almacenamiento de aguacate. HR ext = P_v AGUACATE

Las sales empleadas para generar las humedades relativas propuestas fueron sulfato de potasio (K_2SO_4) y cloruro de potasio (KCl) y en solución saturada originando las humedades relativas de 97% y 85% respectivamente⁽³⁹⁾.

Se midió el área de la boquilla de las cámaras de prueba, llenando éstas con la solución saturada de la sal correspondiente, dejando un espacio entre la solución saturada y la boquilla de 0.6cm⁽⁶⁶⁾.

Se colocó cada película en la cámara de prueba correspondiente fijándola con una cinta de goma y sellando herméticamente con silicón, pesando enseguida cada cámara de prueba e introduciéndolas en la cámara de ambientación correspondiente, como se muestra en los modelos de experimentación de las figuras 4 y 5. El peso de las cámaras de prueba se monitoreó cada 24 horas, así como la temperatura y la humedad relativa, deteniendo el experimento cuando se tuvieron mínimo 8 datos en el estado estable que dieran un coeficiente de correlación de 0.99. Se midió la distancia final entre la película y la solución saturada, a la cual algunos autores la reportan como GAP.

Con los datos obtenidos de ganancia/pérdida de peso en función del tiempo, se calculó la pendiente en estado estable y posteriormente se realizó el tratamiento de datos de acuerdo al método ASTM E96-80 y modelos de corrección para películas hidrofílicas para obtener la permeabilidad al vapor de agua efectiva (WVPe).

Se llevó a cabo un análisis de varianza para un experimento factorial en bloques completos, para ver el efecto de la temperatura de experimentación, la neutralización de las películas, la dirección de flujo del permeante y la incorporación de los aditivos agregados a la película de quitosán.

Figura 4. Modelo de experimentación cuando la humedad relativa interna es mayor que la humedad relativa externa (modelo de almacenamiento del aguacate).

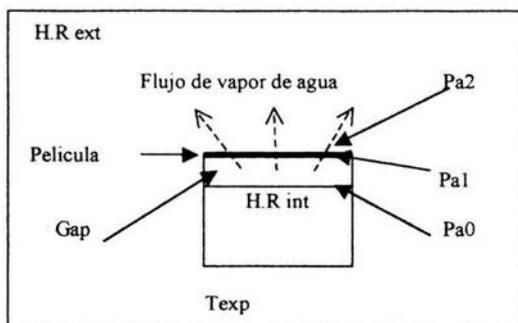
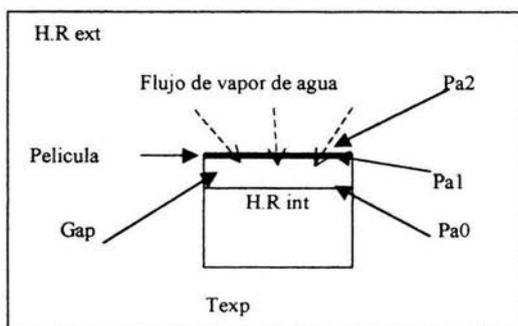


Figura 5. Modelo de experimentación cuando la humedad relativa externa es mayor que la humedad relativa interna.



Donde:

HR ext = humedad relativa en la cámara de ambientación.

HR int = humedad relativa interna en la cámara de prueba.

Texp = temperatura de experimentación.

Pa2 = presión de vapor de agua en la superficie superior de la película.

Pa1 = presión de vapor de agua en la superficie inferior de la película.

Pa0 = presión de vapor de agua ejercida sobre la solución saturada en el interior de la cámara de prueba.

4.2.3 Objetivo particular 3.

Actividad 4.2.3.1 Preparación de las muestras.

Se elaboraron las películas de quitosán compuestas como en el objetivo particular 2, las cuales fueron cortadas en tiras de 10.5 x 2.8 cm midiendo el espesor de las diferentes películas siguiendo las recomendaciones del método ASTM D 1005-95, éstas se almacenaron por 48 hrs a 25°C y 55% de humedad relativa para llevar a cabo las pruebas mecánicas.

Actividad 4.2.3.2 Evaluación de las propiedades mecánicas.

Se evaluaron la elongación, fuerza de tensión y módulo elástico en el texturómetro TA.XT2, utilizando una velocidad de 2 mm/s con una carga de 50 g realizando 10 réplicas por película. Se utilizó el dispositivo de mordazas de tensión para la prueba colocando los extremos de las tiras de las películas.

Se determinó la elongación que se define como el incremento en la longitud de la muestra desde el punto inicial de aplicación de la carga hasta el punto de ruptura de la misma en una prueba de tensión, la fuerza de tensión que expresa la fuerza máxima desarrollada en una película durante una prueba de tensión y el módulo de elasticidad definido como la carga por unidad de área transversal requerida para elongar la película el 1% en donde la pendiente se mantiene constante en una curva de fuerza – tensión.

5 Resultados y discusión.

5.1 Objetivo particular 1.

Actividad 5.1.1 Evaluación de la actividad de agua (Aw) del aguacate.

Para la preparación de la muestra de aguacate en estado de madurez fisiológica, se procedió a lavarlos usando detergente y agua, posteriormente se realizó el despulpado con la ayuda de una minilicadora marca "Moulinex". Se homogeneizó la muestra de varios aguacates y llenaron las celdas de carga del Aqualab modelo CX2.

La primera determinación de Aw del aguacate fue significativamente diferente a las dos siguientes, como se muestra en la tabla 5. Se piensa que en la primera determinación el aqualab estaba acondicionándose, por lo que se decidió hacer el promedio de las dos siguientes determinaciones ya que fueron similares entre ellas y concuerda con los valores típicos (0.98 a 1.00) reportados bibliográficamente para hortalizas frescas y frutas⁽³⁷⁾.

Tabla 5. Resultados de actividad de agua de aguacate en estado de madurez fisiológica.

Muestra	Aw
1	0.794
2	0.965
3	0.982
Promedio de la 2 y 3	0.973

Actividad 5.1.2 Determinación de las condiciones experimentales para evaluar la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas compuestas de quitosán.

Considerando que la actividad de agua se define como la relación existente entre

la presión de vapor de agua del alimento y la presión de vapor saturado a la misma temperatura(22).

$$A_w = (P_w / P^\circ) \dots (1)$$

La humedad relativa se define como la cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua, también puede expresarse como porcentaje de humedad relativa usando presiones parciales.

$$HR = (P_w / P^\circ) * 100 \dots (2)$$

Sustituyendo la ecuación (1) en (2).

$$HR = A_w * 100 \dots (3)$$

Utilizando la ecuación (3) se obtiene que:

$$HR_{AGUACATE} = 0.973 * 100$$

$$HR_{AGUACATE} = 97.3\%$$

Conociendo las condiciones recomendadas para almacenar los aguacates (temperatura de 4 a 10°C y una HR = 85%), así como la A_w del aguacate previamente determinada, se seleccionó usar las sales saturadas de cloruro de potasio y sulfato de potasio para lograr las condiciones de experimentación, que se muestran en las figuras 6 y 7, en donde se simuló el almacenamiento de aguacate.

Tabla 6. Humedades relativas de soluciones saturadas de sulfato y cloruro de potasio.

SOLUCIONES SATURADAS	% HUMEDAD RELATIVA
Sulfato de potasio (K_2SO_4)	97
Cloruro de potasio (KCl)	85

Fuente: Martín Polo y cols(39).

5.2 Objetivo particular 2.

Actividad 5.2.1 Obtención del quitosán.

Se logró obtener el quitosán con un grado de desacetilación mayor al 85 % y completamente soluble en agua acidificada. El quitosán se disolvió en una solución al 1 % de ácido acético.

Actividad 5.2.2 Elaboración de películas compuestas de quitosán.

Las películas compuestas de quitosán obtenidas tuvieron las siguientes características:

Translúcidas, elásticas sin fracturas y sin poros. Las películas que contenían cera presentaron partículas sin disolverse en la matriz polimérica, las que contenían glicerol daban una apariencia más translúcida que las que no lo contenían y mayor elasticidad, las que contenían tween 80 presentaban mayor dificultad para el desmoldado porque eran mas elásticas y presentaban adherencia.

Las películas que fueron neutralizadas presentaron un comportamiento hidrofóbico, es decir no se disolvían al contacto con el agua, solo las que contenían tween 80 presentaron una deformación en forma de burbujas al contacto con el agua que al secarse formaron pliegues.

Actividad 5.2.3 Determinación del espesor de las películas.

La evaluación del espesor de las películas compuestas de quitosán fue de acuerdo al método ASTM D1005-95, con ayuda de un micrómetro marca Mitutoyo modelo Digimatic con una resolución de 0.001mm y se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la medición de espesor de las películas compuestas de quitosán.

PELICULA	ESPESOR PROMEDIO (mm)	
	NO NEUTRALIZADAS	NEUTRALIZADAS
Qn	0.015	0.012
Qn-C	0.027	0.028
Qn-G	0.014	0.015
Qn-T	0.017	0.015
Qn-C-G	0.035	0.026
Qn-C-T	0.035	0.022
Qn-G-T	0.022	0.016
Qn-C-G-T	0.033	0.017

Los espesores de las películas de quitosán que contenían cera eran aproximadamente del doble de las películas que no la contenían. Los espesores de películas no neutralizadas fueron más grandes que los de las películas neutralizadas. A continuación se enlistan una serie de películas reportadas por diversos autores en donde se observan los espesores obtenidos tanto para películas con quitosán así como películas hidrofílicas e hidrofóbicas.

Tabla 8. Espesores reportados bibliográficamente de diferentes películas, de diversos materiales.

PELICULAS	ESPESOR(mm)	REFERENCIA
Quitosan –celulosa	0.08	Hosokawa, 1990
Quitosán-lípidos	0.0254 – 0.038	Wong y cols(66)
Quitosan	0.0127	Wiles, J.L y cols (65)
Celulosa-Lípidos	0.055	Kesster y cols(34)
Proteína de suero de leche	0.155, 0.139	Pérez Gajo y cols(51)
Celofán	0.02	Debeaufort y cols(17)
Poliétileno de baja densidad	0.025	Debeaufort y cols(17)
celulosa	0.06 y 0.08	Parris y cols(50)
Cera de candelilla	0.025-0.055	Mannhein y cols(37)
Metilcelulosa-mezcla de lípidos	0.030	Debeaufort y cols(18)

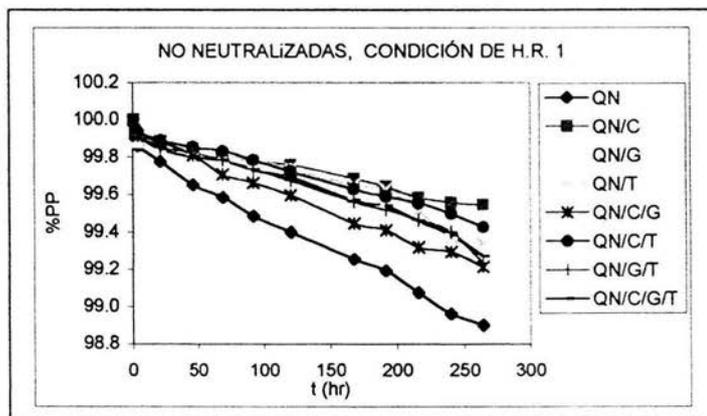
Los espesores que se obtuvieron de la película de quitosán son parecidos a los obtenidos por Wiles, J.L y cols(66), así como los obtenidos de quitosán con los ácidos grasos y cera son parecidos a los que obtuvo Wong y cols(67).

Las películas de quitosán-cera, quitosán-cera-Glicerol así como las de quitosán-cera-tween 80 presentan casi el doble de espesor que las de quitosán solo, quitosán-glicerol y quitosán-tween 80. Estas primeras presentaron espesores similares a los evaluados por Debeaufort y cols⁽¹⁷⁾ en películas de polietileno de baja densidad y celofán; y los detectados por Debeaufort y cols⁽¹⁸⁾ para películas de metilcelulosa con una mezcla de lípidos.

Actividad 5.2.4 Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua(WVP) de las diferentes películas compuestas de quitosán.

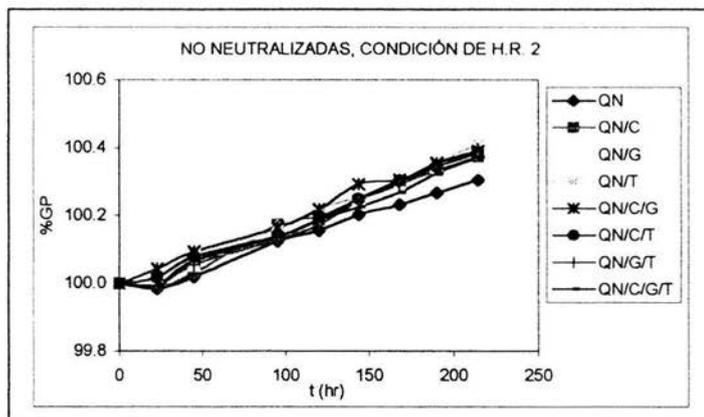
Al evaluar la ganancia/pérdida de peso de las celdas se obtuvieron las siguientes gráficas a temperatura de refrigeración:

Figura 8. Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate.



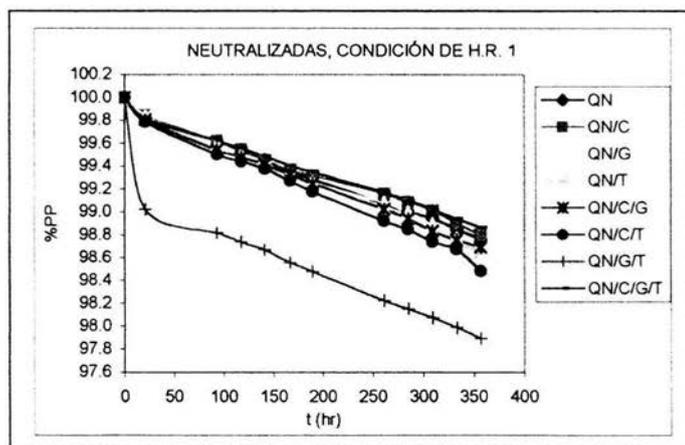
Las películas de quitosán-cera y quitosán-cera-tween 80 fueron las que permitieron menor porcentaje de pérdida de peso en las condiciones de la gráfica anterior.

Figura 9. Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate.



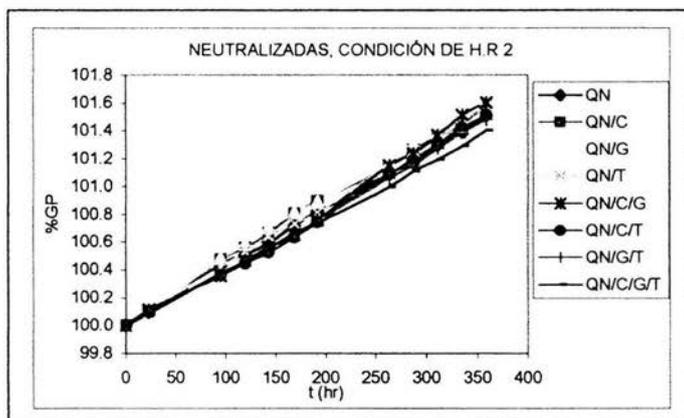
Las películas de quitosán y quitosán-cera-glicerol-tween 80 fueron las que permitieron el menor porcentaje de ganancia de peso en estas condiciones.

Figura 10. Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.



Las películas de quitosán-cera-glicerol-tween 80 y quitosán-cera fueron las que permitieron el menor porcentaje de pérdida de peso en estas condiciones.

Figura 11. Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.

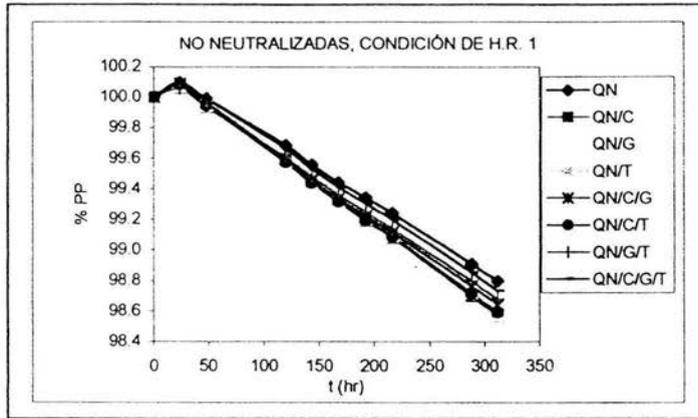


Las películas que permitieron menor porcentaje de ganancia de peso en estas condiciones fueron las de quitosán-cera-glicerol-tween 80 y quitosán.

Utilizando temperatura de refrigeración la película de quitosán-cera-glicerol-tween 80 se ubico dentro de las 2 formulaciones que permitieron menor porcentaje de pérdida/ganancia de peso, a excepción de las condiciones de la gráfica 8. Cabe mencionar que las películas neutralizadas presentan un comportamiento más uniforme en cuanto a la posición en la que se ubicaban durante la experimentación; a diferencia de las películas no neutralizadas ya que su comportamiento fue más inconsistente. Además de que las películas no neutralizadas permitían menor porcentaje de pérdida/ganancia de peso que las películas neutralizadas a las mismas condiciones de temperatura, humedad relativa, en un tiempo determinado.

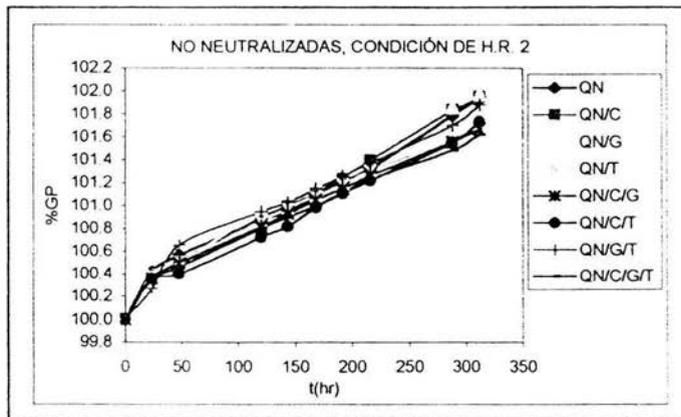
Al evaluar la ganancia/pérdida de peso de las celdas se obtuvieron las siguientes gráficas a temperatura ambiente.

Figura 12. Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate a temperatura ambiente.



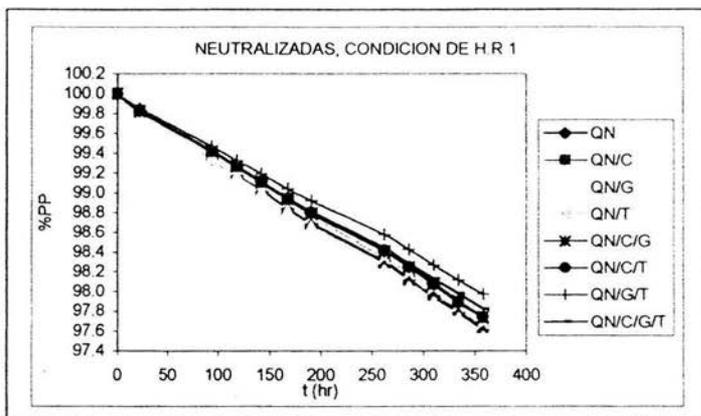
Las películas de quitosán y quitosán-cera-glicerol-tween 80 fueron las que permitieron el menor porcentaje de pérdida de peso en estas condiciones.

Figura 13. Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate a temperatura ambiente.



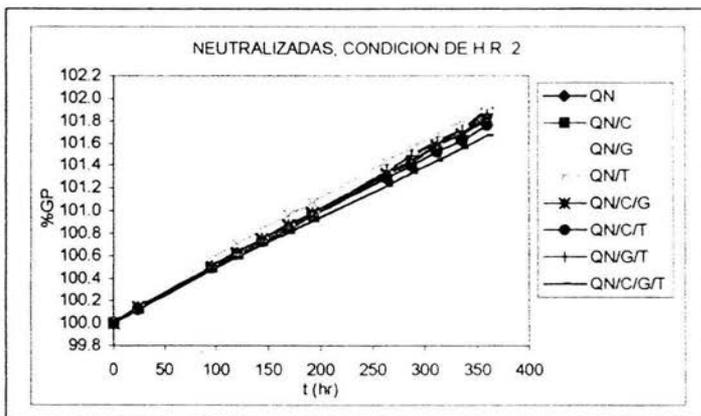
Las películas de quitosán-cera-glicerol-tween 80 y quitosán-cera-tween 80 fueron las que permitieron el menor porcentaje de ganancia de peso en estas condiciones.

Figura 14. Gráfica del porcentaje de pérdida de peso(%PP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán a temperatura ambiente.



Las películas de quitosán-glicerol-tween 80 y quitosán-cera-glicerol-tween 80 fueron las películas que permitieron el menor porcentaje de pérdida de peso en estas condiciones.

Figura 15. Gráfica del porcentaje de ganancia de peso(%GP) contra tiempo (t) en horas, utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán a temperatura ambiente.



Las películas de quitosán-cera-tween 80 y quitosán-cera-glicerol-tween 80 fueron las películas que permitieron el menor porcentaje de ganancia de peso en estas condiciones.

La película de quitosán-cera-glicerol-tween 80 se ubicó dentro de las 2 películas que permitieron menor porcentaje de pérdida/ganancia de peso a temperatura ambiente en las diferentes condiciones de humedad relativa, neutralizadas y no neutralizadas.

A temperatura ambiente las películas no neutralizadas permitieron un porcentaje de pérdida/ganancia de peso similar al de las películas neutralizadas en condiciones similares de humedad relativa. A temperatura de refrigeración se obtuvo un porcentaje menor de pérdida/ganancia de peso que a temperatura ambiente.

Al evaluar la permeabilidad al vapor de agua efectiva (WVPe) se obtuvieron los siguientes resultados. Utilizando la temperatura de refrigeración se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 16. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate.

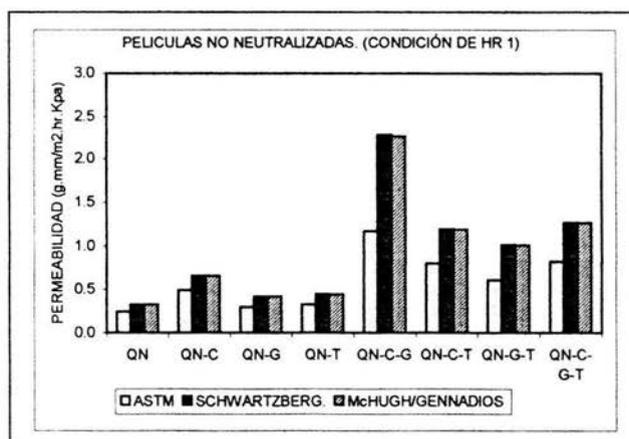
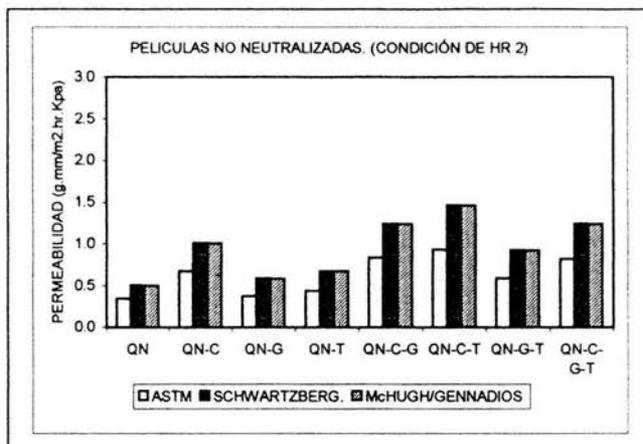


Figura 17. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate.



Empleando el modelo de almacenamiento del aguacate la película que presentó menor permeabilidad fue la de quitosán con valor de 0.3223 g.mm/m².hr.Kpa, la película que presentó el mayor valor fue la de quitosán-cera-glicerol con valor de 2.2610 g.mm/m².hr.Kpa.

Con sentido de flujo inverso obtuvo el menor valor la película de quitosán con 0.4994 g.mm/m².hr.Kpa y el mayor la película de quitosán-cera-tween 80 con valor de 1.4610 g.mm/m².hr.Kpa.

Se pudo observar que los valores de las películas correspondientes en cuanto a la condición de humedad relativa 1 y 2 son similares, a excepción de la película de quitosán-cera-glicerol.

Utilizando la temperatura de refrigeración, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán, se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 18. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.

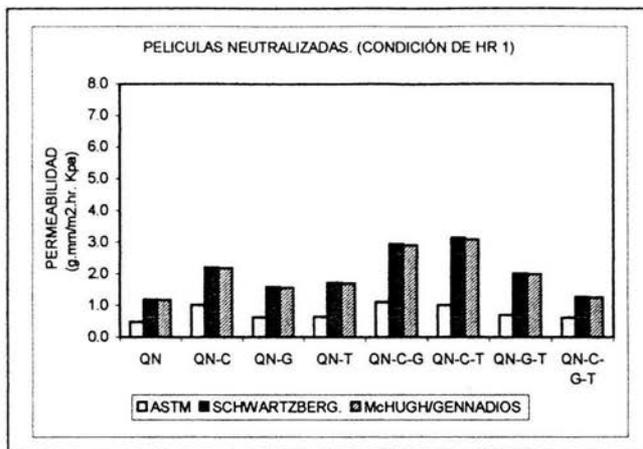
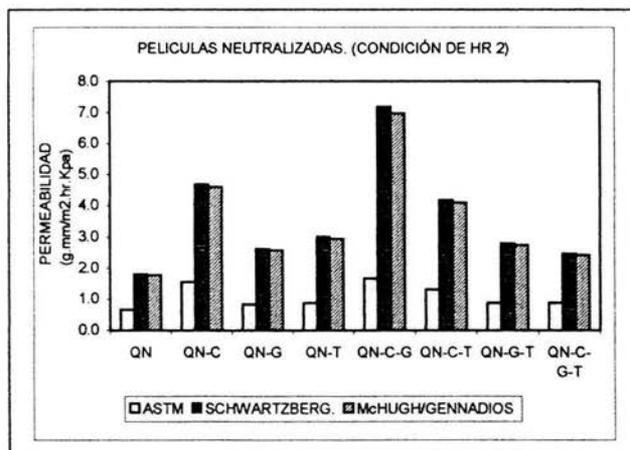


Figura 19. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.



La película que presentó menor permeabilidad fue la de quitosán con valor de 1.1696 g.mm/m2.hr.Kpa, la película compuesta que presentó el mayor valor fue la de quitosán-cera-tween 80 con valor de 3.0804 g.mm/m2.hr.Kpa.

Con sentido de flujo inverso obtuvo el menor valor la película de quitosán con 1.7694 g.mm/m2.hr.Kpa y el mayor la película de quitosán-cera-glicerol con valor de 6.9684 g.mm/m2.hr.Kpa. Además de que presentaron valores más grandes de permeabilidad las películas con la condición de humedad relativa 2, en algunos casos correspondientes hasta del 100%. Los valores más grandes los presentaron las películas de quitosán-cera-glicerol y quitosán-cera-tween 80 debido a que el glicerol reduce los puentes de hidrógeno e incrementan el espacio intermolecular por lo que aumenta la sorción de moléculas polares como el agua, el tween 80 que en su mayoría está compuesto por ácido oleico aumenta la permeabilidad al vapor de agua además de que la cera no logró incorporarse en emulsión presentando hoyos en la película. Los valores de permeabilidad de las películas neutralizadas fueron aproximadamente 4 veces mayores que los de las películas no neutralizadas debido a que al neutralizarse la cadena de quitosán se entrecruzaban con mayor fuerza lo que originaba orificios en otras partes de la matriz polimérica que permitían la transferencia de vapor de agua.

Utilizando la temperatura ambiente se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 20. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente.

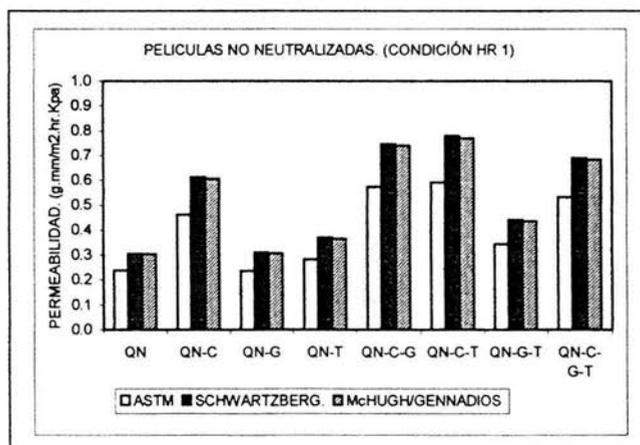
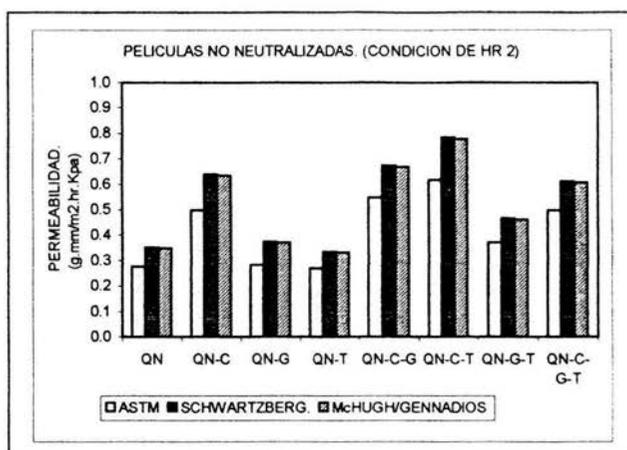


Figura 21. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente.



La película que presentó el menor valor de WVP con la condición de humedad relativa de almacenamiento del aguacate (condición 1) pero a 24°C fue la de quitosán con 0.3039 g.mm/m².hr.Kpa y la que presentó el valor mayor fue la de quitosán-cera-tween 80 con 0.7711 g.mm/m².hr.Kpa.

En el sentido inverso la permeabilidad más baja la obtuvo la película de quitosán-tween 80 con 0.3323 g.mm/m².hr.Kpa y la más alta la obtuvo también la película quitosán-cera-tween 80 con 0.7781 g.mm/m².hr.Kpa. Los resultados de ambas condiciones de humedad relativa presentaron similitud con sus películas correspondientes.

Utilizando la temperatura ambiente, neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán, se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 22. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente y neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.

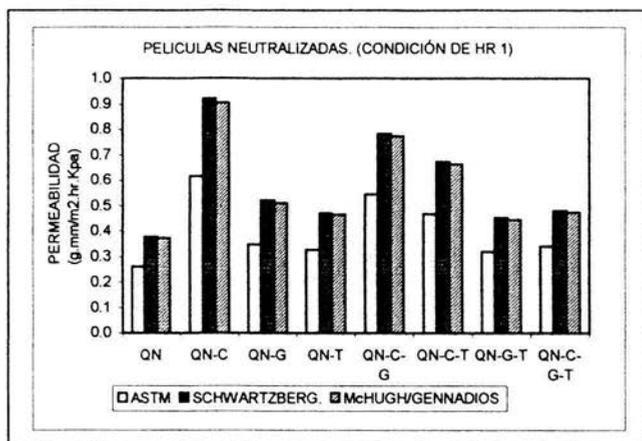
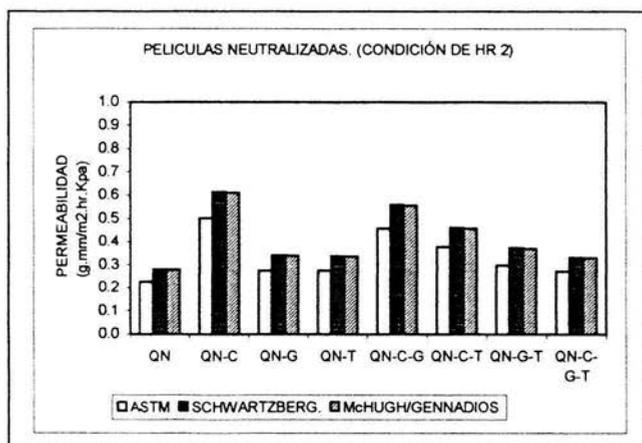


Figura 23. Gráfica de resultados de permeabilidad utilizando modelo inverso de almacenamiento del aguacate, a temperatura ambiente y neutralizando previamente las películas compuestas de quitosán.



Los resultados con condición de humedad relativa 1 arrojaron lo siguiente: la película con valor de permeabilidad más bajo fue la de quitosán con 0.3723

g.mm/m².hr.Kpa y la película valor más alto fue la de quitosán-cera con 0.9057 g.mm/m².hr.Kpa.

En el caso de la condición de humedad relativa 2 el valor más bajo también lo tuvo la película de quitosán con 0.2799 g.mm/m².hr.Kpa, el más alto fue de igual forma para la película de quitosán-cera con 0.6112 g.mm/m².hr.Kpa.

Los valores de la condición de humedad relativa 1 son mayores que los de la condición de humedad relativa 2.

Cuando las películas se neutralizan, sí existe diferencia al cambiar el sentido de flujo, utilizando la temperatura ambiente se obtienen valores 40% mayores en el sentido de pérdida de peso en copa y utilizando la temperatura de refrigeración se obtienen valores 177% mayores en el sentido de ganancia de peso; obteniendo el efecto que determinó Mauer y cols⁽⁴²⁾ que obtuvo valores casi 300% mayores cuando se considera el flujo en el sentido de ganancia de peso en copa para películas de B-caseína con glicerol, utilizando gradientes de humedad relativa de 53:11 y 53:76.

La película de quitosán en las ocho diferentes condiciones experimentales fue la película con menor permeabilidad, presentando valores de 0.2799 a 1.7694 g.mm/h.m².Kpa.

Estos valores son menores a los obtenidos por Garnica⁽²⁵⁾ y Trejo y cols⁽⁶⁴⁾ que utilizaron la misma tecnología de elaboración de las películas pero un gradiente de humedad relativa de 100%:0%, los valores de Garnica⁽²⁵⁾ y Trejo y cols⁽⁶⁴⁾ en promedio fueron 700% mas grandes que las que se obtuvieron en este trabajo donde se utilizó un gradiente de humedad relativa de 85%:97%. Lo que indicó que la permeabilidad es directamente proporcional con el gradiente de humedad relativa cuando se utiliza esta tecnología de elaboración de las películas.

Los resultados obtenidos de las películas de quitosán-glicerol en las películas no neutralizadas con valores de 0.3084 a 0.5963 g.mm/h.m².Kpa son similares a los obtenidos por Caner y cols⁽¹⁰⁾ de 0.2197 a 0.5412 g.mm/m².hr.Kpa para películas de quitosán con polietilenglicol.

Las películas de quitosán-cera con valores de 0.6057 a 4.6061 g.mm/h.m².Kpa, así como quitosán-cera-glicerol con valores de 0.5560 a 6.9684 g.mm/h.m².Kpa y quitosán-cera-tween 80 con valores de 0.6656 a 4.0910 g.mm/h.m².Kpa en las ocho diferentes condiciones de experimentación se localizaron en los tres últimos lugares. Esto ocurrió debido a que no se incorporó la cera en la matriz polimérica ya que no se utilizó temperatura al adicionar ésta, además de que los plastificantes reducen las fuerzas intermoleculares e incrementan el volumen libre del polímero. Las películas que contenían cera presentaron desde el doble hasta 8 veces más permeabilidad que las películas que no la contenían.

Los valores de permeabilidad de las películas no neutralizadas son menores que las películas neutralizadas debido a la polimerización de las moléculas de quitosán.

Los valores de permeabilidad obtenidos utilizando refrigeración son mayores que a temperatura ambiente posiblemente debido a un cambio en la estructura o la formación de defectos en el material. Existen 3 hipótesis, la primera propone que la sorción de agua se incrementa debido al decremento en la temperatura iniciando el factor preponderante de transferencia; Rogers⁽⁵⁶⁾ ha observado un incremento en permeabilidad de polietileno a bajas temperaturas y muestra que la difusión y la sorción se desvían de la forma lineal a bajas temperaturas debido al efecto plastificante de las moléculas sorbidas. La segunda hipótesis se basa en un cambio en la estructura de la película entre 5 y -10°C que afecta la difusión de agua en la matriz. Otra hipótesis concierne a las propiedades de las moléculas del penetrante.

A continuación se enlistan algunos valores de otros autores y otras películas, entre las cuales se incluyen películas hidrofílicas a base de proteínas, carbohidratos y lípidos; así como películas hidrofóbicas.

Tabla 9. Valores de permeabilidad obtenidos por diferentes autores.

Película	Gradiente de %HR	Temperatura °C	Permeabilidad (g.mm/m ² .hr.Kpa)	Referencia
Quitosán 3%-Glicerol	50%	25	0.0738-0.172	Butler y cols(9)
Quitosán 3%-polietilenglicol	50%	25	0.2197-0.5412	Caner y cols(10)
Quitosán 2%	100%:0%	24-36	4.7640 (Corr. Mc-Hugh)	Trejo y cols(64)
Quitosán 2%	100%:0%	25	4.1785 (Corr. Gennadios)	Garnica(25)
Quitosán 2%-glicerol 0.3%	100%:0%	25	4.1042 (Corr. Gennadios)	Garnica(25)
Quitosán 2%-ac. Oleico0.6%	100%:0%	25	5.4723 (Corr. Gennadios)	Garnica(25)
Albúmina de huevo – Glicerol 3.5%	100%:50%	25	10.27	Gennadios y cols(26)
WPI			4.75	Perez-Gallo y cols(52)
WPI	100%:50%	4	2.68 (Corr. Gennadios)	Kaya y cols(33)
WPI	100%:50%	20	4.32 (Corr. Gennadios)	Kaya y cols(33)
B-caseína	53%:11%	22.5°C	0.646	Mauer y cols(42)
B-caseína	53%:76%	22.5	1.882	Mauer y cols(42)
Celofán			0.0527	Debeaufort y cols(17)
Polietileno de alta densidad			6.64x10 ⁻⁵	Debeaufort y cols(17)

Cabe mencionar que algunos autores representan valores de permeabilidad al vapor de agua evaluados sin los modelos de corrección para películas hidrofílicas.

Del análisis estadístico de varianza para un experimento factorial en bloques completos se obtuvieron los siguientes resultados al aplicar la prueba de Dunett.

- La dirección del flujo no presentó significancia, es decir no existe diferencia entre usar un sentido de flujo y otro, con estas condiciones.
- La neutralización de las películas presentó significancia, aproximadamente del doble de permeabilidad para las películas neutralizadas.
- Las películas que presentan diferencia significativa en comparación con la película control de quitosán fueron las de quitosán-cera, quitosán-cera-glicerol y quitosán-cera-tween 80, presentando una permeabilidad mayor.

5.3 Objetivo particular 3.

Actividad 5.3.1 Preparación de las muestras.

Un texturómetro modelo TA.TX2 (Texture Technologies, Corp., New York) fue utilizado en el modo tensión para realizar las pruebas mecánicas, dicho texturómetro ha sido utilizado también por Cherian y cols⁽¹⁶⁾ y Anker y cols⁽¹⁾.

Las películas presentaron una apariencia y espesores similares a la del objetivo 2, éstas se cortaron en tiras de 10.5 x 2.8 cm dichas dimensiones fueron cercanas a las utilizadas por Fairley y cols⁽²⁰⁾ y Gennadios y cols⁽²⁶⁾ para la determinación en películas de aislado proteico de suero de leche y películas a base de albúmina de huevo; así como Garnica para películas de quitosán compuestas, aunque la longitud real de prueba fue de 6.7 cm ya que las tenazas de agarre ocupaban 1.9cm cada una.

Posteriormente al ser recortadas las películas fueron acondicionadas por 48 horas a 50% de humedad relativa y 25°C de temperatura.

Las condiciones de velocidad de 2 mm/s y carga de 50 g empleadas en dichas pruebas fueron similares a los utilizados por Gnanasambandam y cols en películas de salvado de arroz y Garnica en películas de quitosán compuestas⁽²⁵⁾⁽²⁸⁾.

Actividad 5.3.2 Evaluación de las propiedades mecánicas.

Se determinó la elongación que se define como el incremento en la longitud de la muestra desde el punto inicial de aplicación de la carga hasta el punto de ruptura de la misma en una prueba de tensión, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 24. Gráfica de resultados de elongación de películas compuestas de quitosán no neutralizadas.

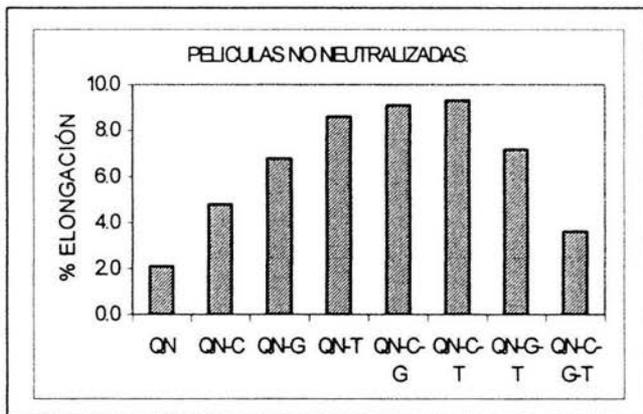
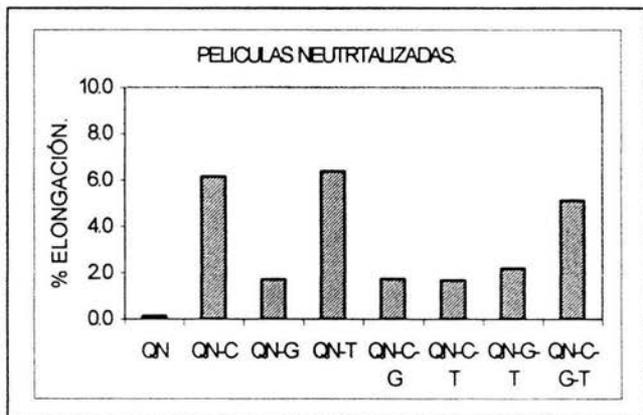


Figura 25. Gráfica de resultados de elongación de películas compuestas de quitosán neutralizadas.



El valor mas alto de porcentaje de elongación para películas no neutralizadas fue para la película de quitosán-cera-tween 80 y quitosán-cera-glicerol con valores de 9.3 y 9.1 respectivamente; así como el mas bajo fue para la película de quitosán con un valor promedio de 2.1.

Como se puede ver la adición de cera, glicerol y tween aumentan el porcentaje de elongación debido a que los plastificantes como el glicerol y los ácidos grasos esterificados, como el ácido oleico, que actúan como plastificantes internos, reducen las fuerzas de interacción dentro de la cadena, suavizándola lo que lleva a cambios en propiedades mecánicas.

Esto coincidió con lo detectado por Budi Santosa y cols⁽⁸⁾ al utilizar ácido oleico en películas de zeína. Así como con las conclusiones de Hosokawa y cols⁽³¹⁾ y Butler y cols⁽⁹⁾ para películas de quitosán plastificadas con glicerol.

Al neutralizar las películas se obtuvieron nuevamente valores mayores para las películas compuestas aunque sin una tendencia lo que explicó que la neutralización influyó en el acomodo molecular de los componentes.

Se observó que la mayoría de las películas no neutralizadas presentan valores mayores comparando con los valores de las películas neutralizadas desde un 135% para películas de quitosán-tween 80 hasta un 1615% para la película de quitosán.

A diferencia de las películas de quitosán-cera y quitosán-cera-glicerol-tween 80 neutralizadas presentan valores a razón de 78% y 70% mayores que las no neutralizadas.

Con respecto a la fuerza de tensión, que expresa la fuerza máxima desarrollada en una película durante una prueba de tensión, se obtuvo lo siguiente:

Figura 26. Gráfica de resultados de fuerza de tensión de películas compuestas de quitosán no neutralizadas.

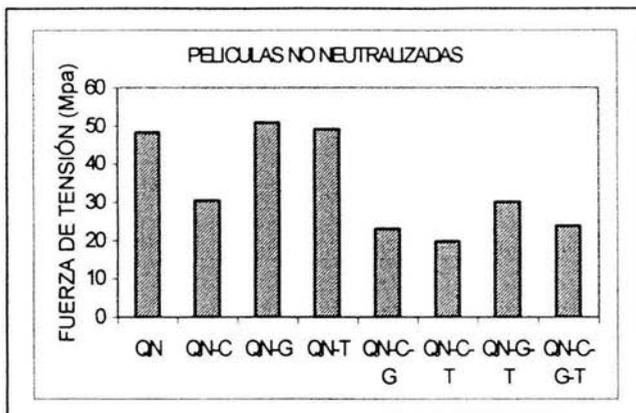
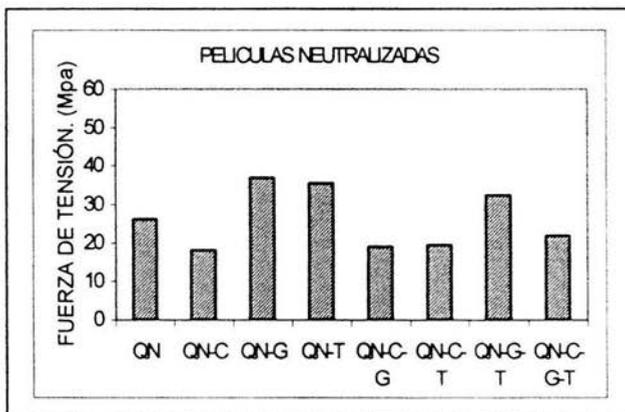


Figura 27. Gráfica de resultados de fuerza de tensión de películas compuestas de quitosán neutralizadas.



Los valores máximos en las películas sin neutralizar los presentan las películas de quitosán, quitosán-glicerol y quitosán-tween 80 con valores de 48.4, 50.9 y 49.2 Mpa respectivamente.

Así como los más bajos los presentaron las películas de quitosán-cera-glicerol y quitosán-cera-tween 80 con valores de 19.8 y 22.9Mpa, lo que coincide con Butler y cols⁽⁹⁾, Hosokawa y cols⁽³¹⁾ y Budi Santosa y cols⁽⁸⁾ al concluir que al adicionar plastificantes suavizan los enlaces del polímero.

Para las películas neutralizadas los valores mayores los obtuvieron las películas de quitosán-glicerol, quitosán-tween 80 con valores de 36.9 y 35.5Mpa, lo que representa un 41% y 36% mayores que la película de quitosán.

La tendencia de las películas no neutralizadas y las neutralizadas fueron semejantes, pero mayores para las no neutralizadas.

Los resultados del módulo elástico que se define como una medida de la fuerza intrínseca de la película, evaluada en la pendiente del rango lineal de la gráfica fuerza-tensión, fueron los siguientes:

Figura 28. Gráfica de resultados de módulo elástico de películas compuestas de quitosán no neutralizadas.

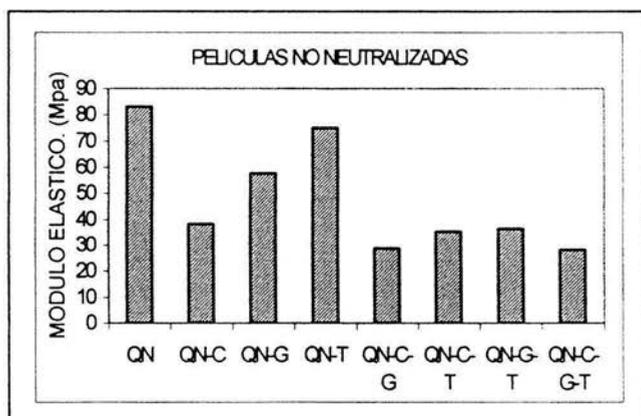
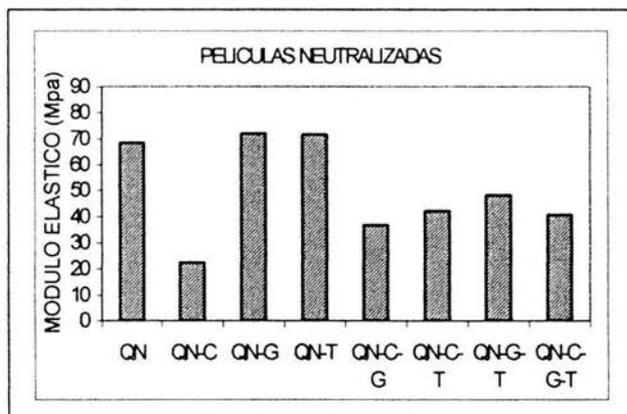


Figura 29. Gráfica de resultados de módulo elástico de películas compuestas de quitosán neutralizadas.



Para las películas no neutralizadas el valor máximo de módulo elástico lo obtuvieron las películas de quitosán y quitosán tween 80 con valores de 85 y 74.5Mpa respectivamente. El valor mínimo fue para la película de quitosán-cera-glicerol-tween 80 con 28.2Mpa.

En cuanto a las películas neutralizadas los valores máximos de módulo elástico fueron para las películas de quitosán-tween 80, quitosán-glicerol y quitosán con valores de 72, 71.5 y 68.4Mpa respectivamente. Así como el valor mínimo fue para la película de quitosán-cera con 22.5Mpa.

Las películas que presentaron los valores más grandes de fuerza de tensión y modulo elástico; además de ubicarse en los valores más grandes de porcentaje de elongación fueron las de quitosán-glicerol y quitosán-tween 80.

A continuación se enlistan en la tabla 10 las propiedades mecánicas de diferentes películas:

Tabla 10. Propiedades mecánicas de diferentes películas reportadas por diversos autores.

Película	Fuerza de tensión	% elongación	Modulo de elasticidad	Condiciones de Experimentación	Dimension de muestras (cm)	Referencia.
Quitosán 3%	15-30	25-45		Vel = 8.3 mm/s	10x2.54	Butler y cols(9).
Quitosán 3%	6.8-31.8	14-70			10x2.5	Caner y cols(10)
Quitosán 2% glicerol 0.3%	35.4	79.2		Carga de 50 gr Vel = 2 mm/s	10.5x2.8	Garnica(25)
Quitosán2%-ac. Oléico 0.6%.	18.5	22.9		Carga de 50 gr Vel = 2 mm/s	10.5x2.8	Garnica(25)
Celulosa 3%	61.15	21.08		Vel=8.3mm/s	6x2.54	Park y cols(50)
Albúmina de huevo 9%	4.12	12.4		Vel = 1.6 mm/s	15x2.54	Gennadios y cols(26)
WPI 5%	6.5	43	195	Carga de 50 Kg Vel=0.83mm/s	10x1.5	Pérez-Gallo y cols(52)
WPI 8%	2.23	27.08	36.1	Vel = 8.3 mm/s	15x2	Kaya y cols(33)
B-caseína 5%	9.2	246	120	Vel = 8.3 mm/s	15x2	Mauer y cols(42)
Zeína de maíz 25%	5.9	43.6	307	Vel = 0.42 mm/s	12x1.3	Budi Santosa y cols(8)
Proteína de soya	3.13	66.54		Carga de 50 kg Vel = 8.3 mm/s	10x2.54	Brandenburg y cols(7)

Lo que se puede concluir es que la comparación de mediciones debe ser aproximada con precaución porque las dimensiones de la muestra, número de réplicas, y condiciones de prueba varían de estudio a estudio según Fairley y cols(20).

6 Conclusiones.

Objetivo particular 1

- La actividad de agua (A_w) promedio de aguacate en estado de madurez fisiológica que se midió fue de 0.973.

Objetivo particular 2

- Se lograron elaborar todas las formulaciones de las películas compuestas de quitosán y en general se definieron como traslúcidas, elásticas, sin fracturas y sin poros.
- La película control de quitosán en las 8 diferentes condiciones experimentales presentó los valores más bajos de permeabilidad efectiva en un rango de 0.2799 a 1.7694 g.mm/h.m².Kpa.
- Empleando el modelo de almacenamiento del aguacate la película que presentó menor permeabilidad efectiva fue la de quitosán con valor de 0.3223 g.mm/h.m².Kpa.
- Empleando el modelo de almacenamiento del aguacate las películas de quitosán-glicerol y quitosán-tween 80 ocuparon el segundo y tercer lugar en cuanto a menor permeabilidad efectiva con valores de 0.4200 g.mm/h.m².Kpa y 0.4453 g.mm/h.m².Kpa, correspondientemente.
- Del análisis estadístico de varianza para un experimento factorial en bloques completos al aplicar la prueba de Dunnett se obtuvo que la dirección de flujo no presentó significancia y que la neutralización de las películas sí presentó significancia obteniéndose valores aproximadamente 100% mayores de permeabilidad efectiva para las películas neutralizadas.
- Del mismo análisis estadístico resolvió que las películas que presentan diferencia significativa en comparación con la película control de quitosán fueron las de quitosán-cera, quitosán-cera-glicerol y quitosán-cera-tween 80; presentando una permeabilidad efectiva mayor.

Objetivo particular 3

- El valor mas alto de porcentaje de elongación para películas no neutralizadas fue para la película de quitosán-cera-tween 80 y quitosán-cera-glicerol con valores de 9.3 y 9.1 respectivamente.
- La mayoría de las películas no neutralizadas presentan valores de porcentaje de elongación mayores que los de las películas neutralizadas hasta un 1615% para la película de quitosán.
- Los valores máximos de fuerza de tensión en las películas no neutralizadas y neutralizadas los presentan las películas de quitosán-glicerol y quitosán-tween 80.
- Las películas no neutralizadas presentan valores de fuerza de tensión mayores que los de las películas neutralizadas.
- La película de quitosán-tween 80, quitosán-glicerol y quitosán presentaron los valores más grandes de módulo elástico para películas neutralizadas y no neutralizadas.
- Las películas de quitosán-glicerol y quitosán-tween 80 fueron las que presentaron valores altos en la evaluación de las tres propiedades mecánicas (porcentaje de elongación, fuerza de tensión y modulo elástico).
- Las películas de quitosán-glicerol y quitosán- tween 80 tuvieron los valores de permeabilidad más bajos, excluyendo la película control de quitosán, y los valores más elevados de propiedades mecánicas debido a que las películas con cera no lograron cumplir la función por la que se decidió incorporar este aditivo, que era disminuir la permeabilidad al vapor de agua castigando un poco las propiedades mecánicas, ya que se trataba de una cera poco purificada. Por lo que se concluye aplicar las formulaciones de quitosán-glicerol y quitosán-tween 80 para el recubrimiento de aguacate "*in vivo*".

6.1 Recomendaciones.

- Al evaluar actividad de agua realizar una prueba previa al triplicado.
- Al evaluar la permeabilidad por el método gravimétrico sugerido por la ASTM, se deben asemejar lo más posible las condiciones ambientales de experimentación a las condiciones del objeto de estudio.
- Durante el tiempo que dura la experimentación para evaluar permeabilidad por el método gravimétrico propuesto por la ASTM es necesario monitorear periódicamente las condiciones ambientales para evitar una fluctuación representativa de dichas condiciones.
- Para la evaluación de las propiedades mecánicas es necesario preparar mínimo 10 replicas de cada muestra, teniendo cuidado al cortarlas evitando fisuras, colocarlas en las mordazas de tensión con mucho cuidado y paciencia con la ayuda de guantes que eviten el contacto directo con las muestras.
- Aplicar las películas que presentaron los valores más bajos de permeabilidad efectiva y los más altos de propiedades mecánicas directamente en aguacates en estado de madurez fisiológica para observar el efecto de la interacción película-producto, evaluar la vida útil así como compararlos con un control.

7 Bibliografía.

1. Anker, Martin., Standing, Mast y Hermansson, Anne-Marie. "Effects of pH and the Gel State on the Mechanical Properties, Moisture Contents, and Glass Transition Temperatures of Whey Protein Films". *Journal of Agric. and Food Chemistry*. Volume **43**, No. 47, 1999, p.p. 1878-1886.
2. ASTM D1005-95. *Annual Book of Association of Standard Testing Methods*, Philadelphia, USA, 1995.
3. ASTM D2370-92. *Annual Book of Association of Standard Testing Methods*, Philadelphia, USA, 1995.
4. ASTM E 96-80. *Annual Book of Association of Standard Testing Methods*, Philadelphia, USA, 1995.
5. Avena Bustillos, R.J., y Krochta, J.M. "Water Vapor Permeability of Caseinate-Based Edible Films as Affected by pH, Calcium Crosslinking and Lipid Content". *Journal of Food Science*, Volume **58**, No. 4, 1993, p.p. 904-907.
6. Bosques M, E., Vernon C, J., Pérez F, L., Guerrero L, I. "Películas y Cubiertas Comestibles para la Conservación en Fresco de Frutas y Hortalizas"., *Industria Alimentaria*, Ene-Feb., 2000, p.p. 4-36.
7. Brandenburg, A.H., Weller, C.L., Testin, R.F. "Edible Films and Coatings from Soy Protein". *Journal of Food Science*, Volume **58**, No. 5, 1993, p.p. 1086-1089.

8. Budi Santosa, F.X., Padua Wild, Graciela. "Tensile Properties and Water Absorption of Zein Sheets Plasticized with Oleic and Linoleic Acids". J. Agric. Food Chemistry, Volume 43, No. 47, 1999, p.p. 2070-2074.
9. Butler, B. L; Vergano, P.J; Testin, R. F; Bunn, J. M; Wiles, J. L.. "Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage". Journal of food science, Volume 61, No. 5, 1996, p.p. 953-961.
10. Caner, C; Vergano, P. J. and Wiles J. L. "Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer, and storage". Journal of food science, Volume 63, No. 6, 1998, p.p. 1049-1053.
11. Coffin, David R., Fishman, Marshall L. "Viscoelastic Properties of Pectin/Starch Blends". Journal of Agric. And Food Chemistry, Volume 41, 1993, p.p. 1192-1197.
12. Cook, R. "Introducción a los principios de comercialización". Curso Internacional comercialización del Aguacate en Estados Unidos. Paz Mendoza y Asociados S. C. Uruapan Michoacán, México. 1997.
13. Coupland, John N., Shaw, Niamh B., Monahan, Frank J., O'Riordan, E. Dolores y O'Sullivan Michael. "Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films". Journal of Food Engineering, Volume 43, 2000, p.p. 25-30.
14. Cheftel y Cheftel, "Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los alimentos". Editorial Acribia, 1976, p.p. 17-40.

15. Chen, Hongda. "Functional Properties and Applications of Edible Films Made of Milk Proteins". *Journal of Dairy Science*, Volume 78, 1995, p.p. 2563-2583.
16. Cherian, George., Gennadios, Aristippos., Weller, Curtis y Chinachoti. "Thermomechanical Behavior of Wheat Gluten Films: Effect of sucrose, Glycerin, and sorbitol". *American Association of Cereal chemists*, Volume 72, No. 1, 1995, p.p. 1-6.
17. Debeaufort, F. y Voilley, A. "Aroma Compound and Water Vapor Permeability of Edible Films and Polymeric Packagings". *Journal of Agric. and Food Chemistry*, Volume 42, 1994, p.p. 2871-2875
18. Debeaufort, Frédéric., Quezada-Gallo, Jesus-Alberto., Delporte, Bruno y Voilley, Andrée. "Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films". *Journal of Membrane Science*, Volume 180, 2000, p.p. 47-55.
19. Escamilla, P. V. "Aplicación del secado por asperción para la obtención de Extracto de Yuca en Polvo". Tesis. Fes Cuautitlan. Unam. 1996.
20. Fairley, Peter., Monahan, Frank J., German, J. Bruce, y Krochta, John M. "Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Edible Films from Whey Protein Isolate and Sodium Dodecyl Sulfate". *Journal of Agric. and Food Chemistry*, Volume 44, 1996, p.p. 438-443.
21. FAO. Comportamiento histórico de la producción mundial de aguacate periodo 1996-2001.
22. Fellows S, Peter. "Tecnología del procesado de los alimentos: principios y practicas". Editorial Acribia, España, 1994.

23. Fennema, Owen. "Introducción a la ciencia de los alimentos". Editorial Reverte, S.A de C.V. España, 1985.
24. Fereidoon Shahidi*, Janak Kamil Vidana Arachchi and You-Jin Jeon. "Food applications of chitin and chitosan". *Trends in food science and technology*, Volume 10, 1999, p.p 37-51.
25. Garnica Martínez Omar E. "Permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas de películas modificadas de quitosán". Tesis profesional, Fes Cuautitlán. UNAM. 2001.
26. Gennadios, A., Weller, C.L., Hanna, M.A., Froning, G.W. "Mechanical and Barrier Properties of Egg Albumen Films". *Journal of Food Science*, Volume 61, No. 3, 1996, p.p. 585-589.
27. Gennadios, Aristippos., Weller, Curtis L., Gooding, Charles H. "Measurement Error in Water Vapor Permeability of Highly Permeable, Hydrophilic Edible Films". *Journal of Food Engineering*, Volume 21, 1994, p.p. 395-409.
28. Gnanasambandam, R., Hettiarachchy, N.S., y Coleman, M. "Mechanical and Barrier Properties of Rice Bran Films". *Journal of Food Science*, Volume 62, No. 2, 1997, p.p. 395-398.
29. Gontard, Nathalie., Guilbert, Stéphane., y Cuq, Jean-Louis. "Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film". *Journal of Food Science*, Volume 58, No. 1, 1993, p.p. 206-211.

30. Hagenmaier, Robert D., Baker, Robert A. "Edible Coatings from Candelilla Wax Microemulsions". *Journal of Food Science*, Volume 61, No. 3, 1993, p.p. 562-565.
31. Hosokawa, jun., * Masashi Nishiyama, Kazutoshi Yoshihara y Takamasa Kubo. "Biodegradable film derived from chitosan and homogenised cellulose". *Industrial engineering chemical*, No 29, 1990, p.p 800-805.
32. Ibar Albidaña, Leandro. "Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya". 3a Edición, Editorial AEDOS, Barcelona, España, 1986.
33. Kaya, S and Kaya, A. "Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films". *Journal of Food Engineering*, Volume 43, 2000, p.p. 91-96
34. Kesster, J.J. y Fennema, O. "An Edible Film of Lipids and Cellulose Ethers: Barrier Properties to Moisture Vapor Transmission and Structural Evaluation". *Journal of Food Science*, Volume 54, No. 6, 1989, p.p. 1383-1389.
35. Krochta, John M., Baldwin, Elizabeth A., Nisperos-Carriedo, Myrna O. "Edible Coatings and Films to Improve Food Quality". Ed. Technomic Publishing Co. Inc., 1994, p.p. 139-187
36. Krochta, John M., De Mulder Johnston, Catherine. "Edible films Solve Problems". *Food Technology*, Volume 51, No. 2, February, 1997, p.p. 60-74.
37. Lewis, M. J. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". Editorial Acribia, S. A., Zaragoza(España),1993.

38. Mannhein, Chain H., y Soffer, Tal. "Permeability of different Wax Coatings and Their Effect on citrus Fruit Quality". *Journal of Agric. and Food Chemistry, Volume 44*, 1996, p.p. 919-923.
39. Martín Polo, Martha Obdulia. "Interacción y compatibilidad envase-producto alimentario". Programa universitario de Alimentos - UNAM, 1997, p.p. 1-56.
40. Martínez, B. R. "La producción nacional de aguacate y su importancia en el mercado internacional". Memorias del VI curso de aprobación fitosanitaria en el manejo del aguacate. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Uruapan, Michoacán, México. 1997.
41. Mate, Juan I., y Krochta, John M. "Comparison of Oxygen and Water Vapor Permeabilities of Whey Protein Isolate and B-Lactoglobulin Edible films". *Journal of Agric and Food Chemistry. Volume 44*, 1996, p.p. 3001-3004.
42. Mauer, L.J., Smith, D.E., y Labuza, T.P. "Water vapor permeability, mechanical, and structural properties of edible B-casein films". *International Dairy Journal, Volume 10*, 2000, p.p. 353-358.
43. McHugh T. Habig., Avena-Bustillos, R., Krochta, J.M. "Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects". *Journal of Food Science, Volume 58*, No. 4, 1993, p.p. 899-903
44. McHugh, T. Habig., Aujard, J.F., Krochta, J.M. "Plasticized Whey Protein Edible Films: Water Vapor Permeability Properties". *Journal of Food Science, Volume 59*, No. 2, 1994, p.p. 416-423.

45. McHugh, T. H., Huxsoll, C.C., Krochta, J.M. "Permeability Properties of Fruit Puree Edible Films". *Journal of Food Science*, Volume 61, No. 1, 1996, p.p. 87-91.
46. Miller, K.S., Krochta, J.M. "Oxygen and Aroma barrier properties of Edible Films: A Review". *Trends in Food Science and Technology*, Volume 8, July, 1997, 228-239.
47. NOM-FF-016-1995-SCFI
48. Nystrom, Bo., Kjoniksen, Anna-Lena y Inverse, Christian. "Characterization of association phenomena in aqueous systems of Chitosan of different hydrophobicity". *Advances in Colloid and Interface Science*. No 79, 1999, p.p. 81-103.
49. Park, J.W., Testin, R.F., Park, H.J., Vergano, P.J., Weller, C.L. "Fatty Acid Concentration Effect on Tensile Strength, Elongation, and Water Vapor Permeability of Laminated Edible Films". *Journal of Food Science*, Volume 59, No. 4, 1994, p.p. 916-919.
50. Park, H. J., Weller, C. L., Vergano, P. J., Testin, R.F. "Permeability and Mechanical Properties of Cellulose-Based Edible Films". *Journal of Food Science*, Volume 59, No. 6, 1993, p.p. 1361-1370.
51. Parris, Nicolas, Coffin, David R., Joubran, Remon F., y Pessen, Helmut. "Composition Factors Affecting the Water Vapor Permeability and Tensile Properties of Hydrophilic Films". *Journal of Agric. and Food Chemistry*, Volume 43, No. 6, 1995, p.p. 1432-1435.
52. Pérez Gallo, M.B., Nadaud, P., y Krochta, J.M. "Water Vapor Permeability, Solubility, and Tensile Properties of Heat-denatured versus Native Whey".

- Protein Films". *Journal of Food Science*, Volume 64, No. 6, 1999, p.p. 1034-1037.
53. Pluma, Luna Ignacio; Hernández Sánchez, J. L. Y Correa Osalde, F. "Conservación de aguacate variedad Hass en fresco, para su conservación" Tesis. Fes Cuautitlan. Unam. 1987.
54. Quesada Gallo, Jesus Alberto., Debeaufort, Frédéric., Callegarin, Francesca., Voilley, Andréé. "Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion edible films". *Journal of Membrane Science*, No 180, 2000, p.p. 37-46.
55. Rizvi, S. S. And Benado, A. L. "Thermodynamic properties of dehydrated foods". *Food Technology*, 1984, p.p. 83-92
56. Rogers, C. E. "Polymer permeability". *Journal Comin*. Ed. Elsevier, New York, 1985, p.p. 11-73.
57. Rosas García, Alejandra. "Estudio de las propiedades termodinámicas de sorción en cereal de maíz en hojuela". Tesis profesional, Fes. Cuautitlan, 2000.
58. Schwartzberg, H. G. "Modelling of Gas and vapor Transport through Hydrophilic Films". *Food Packaging and Preservation*, M. Mathlouthi, ed. New York: Elsevier Science Publishing Co. Inc., p.p. 115-135.
59. Sherwin, Craig. "The Water Vapor Barrier Properties of Whey Protein Fatty Acid Emulsion Edible Films". Thesis, University of Minnesota, 1998, p.p. 2-100

60. Singh, R. Paul. Heldman, Dennis r. "Introducción a la ingeniería en alimentos". Editorial Acribia S.A de C.V. Zaragoza. España. 1998.
61. Sthornvit, R., Krochta, J.M. "Water Vapor Permeability and Solubility of Films Hidrolized Whey Protein". *Journal of Food Science*, Volume **65**, No. 4, 2000, p.p. 700-703.
62. Stuchell, Yvonne M., Krochta, John M. "Edible Coatings on Frozen King Salmon: Effect of Whey Protein Isolate and Acetylated Monoglycerides on Moisture Loss and Lipid Oxidation". *Journal of Food Science*, 1996.
63. Torres J.A., Dewitt-Mireles, C., Savant V. "Two Food Applications of Biopolymers: Edible Coatings Controlling Microbial Surface Spoilage and Chitosan Use to Recover Proteins from Aqueous Processing Wastes". Ed. American Chemical Society, Washington D.C., 1999, p.p. 248-283.
64. Trejo, Veronica., Aragón, Nidia., Miranda, Patricia. "Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosan". *Revista de la Sociedad Química de México*, Volumen **45**, No. 1, 2001, p.p. 1-5.
65. Vojdani, Fakhrieh y Torres, J. Antonio. "Potassium Sorbate Permeability of Methylcellulose and Hydroxypropyl Methylcellulose Coating: Effect of Fatty Acids". *Journal of Food Science*, Volume **55**, No. 3, 1990, p.p. 841-851.
66. Wiles, J.L., Vergano, P.J., Barron, F.H., Bunn, J.M., Testin, R.F. "Water Vapor Transmission Rates and Sorption Behavior of Chitosan Films". *Journal of Food Science*, Volume **65**, No. 7, 2000, p.p. 1175-1179.
67. Wong, Dominic W.S., Gastineau, Fgrancois A., Gregorsy, Kay S., Tillin, Sandra J., Pavlath, Attila E. "Chitosan-Lipid Films: Microstructure and

Surface Energy". *Journal of Agric. and Food Chemistry*, Volume **40**, 1992, p.p. 540-544.

68. Yang, L., y Paulson A.T. "Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films". *Food Research International*, No **33**, 2000, p.p. 563-570
69. Yueming Jaing*, Yuebiao Li. "Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit". *Food Chemistry*. No **73**, 2001, p.p. 139-143.

8 Anexos.

Para los valores de permeabilidad el análisis estadístico de varianza para un experimento factorial en bloques completos fue considerado con una significancia de 0.05 y se utilizó la prueba de Dunnet para identificar diferencias mínimas significativas.

PRUEBA DE VARIANZA SIGNIFICATIVA.

METODO ASTM

	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p
Intercept	21.344631	1	21.344631	498.423912	0
PELI	2.032123059	7	0.29030329	6.77894612	6.5559E-05
NEUTRA	0.29855296	1	0.29855296	6.97158616	0.01285107
HR	0.087645603	1	0.0876456	2.04663477	0.16254652
TEMP	2.20700736	1	2.20700736	51.5363906	4.524E-08
PELI*NEUTRA	0.33645822	7	0.04806546	1.12238879	0.37449779
NEUTRA*HR	0.034642516	1	0.03464252	0.8089462	0.37536569
PELI*HR	0.023605983	7	0.00337228	0.07874704	0.99904888
PELI*NEUTRA*HR	0.071516679	7	0.01021667	0.23857203	0.97218388
Error	1.3275518	31	0.04282425		

PRUEBA DE DUNNETT

METODO ASTM

Error: entre CM = .04282, gl = 31.000			Error: entre CM = .04282, gl = 31.000		
	{1}			{1}	
1	PELI	.32981	1	NEUTRA	.50920
2	QN		2	NO	
3	QN-C	0.0036		SI	0.01286472
4	QN-G	0.9590			
5	QN-T	0.8908			
6	QN-C-G	0.0001			
7	QN-C-T	0.0014			
8	QN-G-T	0.3397			
	QN-C-G-T	0.0819			

PRUEBA DE VARIANZA SIGNIFICATIVA.

MODELO DE CORRECCIÓN POR SCHWARTZBERG

	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p
Intercept	91.2657797	1	91.2657797	88.3997383	1.368E-10
PELI	12.0219008	7	1.71741441	1.66348202	0.15490028
NEUTRA	13.2810136	1	13.2810136	12.8639467	0.00113507
HR	2.04364894	1	2.04364894	1.97947174	0.16939323
TEMP	29.4462239	1	29.4462239	28.521517	8.0878E-06
PELI*NEUTR,	2.90472722	7	0.41496103	0.40192991	0.89375574
NEUTRA*HR	1.93227375	1	1.93227375	1.87159409	0.18112801
PELI*HR	0.60206592	7	0.08600942	0.08330844	0.99885869
PELI*NEUTR,	2.19353361	7	0.31336194	0.30352136	0.94691808
Error	32.0050627	31	1.03242138		

PRUEBA DE DUNNETT

MODELO DE CORRECCIÓN POR SCHWARTZBERG

Error: entre CM = 1.0324, gl = 31.000			Error: entre CM = 1.0324, gl = 31.000		
	{1}			{1}	
	PELI	.62368		NEUTRA	.73863
1	QN		1	NO	
2	QN-C	0.47283224	2	SI	0.00115074
3	QN-G	0.99805398			
4	QN-T	0.98826166			
5	QN-C-G	0.0451148			
6	QN-C-T	0.28671078			
7	QN-G-T	0.92205957			
8	QN-C-G-T	0.93224131			

PRUEBA DE VARIANZA SIGNIFICATIVA.

MODELO DE CORRECCIÓN POR McHUGH Y GENNADIOS

	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p
Intercept	88.58950884	1	88.5895088	90.8398315	9.9655E-11
PELI	11.53645521	7	1.64806503	1.68992866	0.14810583
NEUTRA	12.56153085	1	12.5615309	12.8806149	0.00112798
HR	1.939265131	1	1.93926513	1.98852573	0.16845044
TEMP	28.42196	1	28.42196	29.1439256	6.8492E-06
PELI*NEUTRA	2.733256384	7	0.3904652	0.40038367	0.89471084
NEUTRA*HR	1.816969203	1	1.8169692	1.86312328	0.18209022
PELI*HR	0.549015589	7	0.0784308	0.08042307	0.99898168
PELI*NEUTRA*HR	2.045332068	7	0.2921903	0.29961242	0.94867572
Error	30.23205491	31	0.97522758		

PRUEBA DE DUNNETT

MODELO DE CORRECCIÓN POR McHUGH Y GENNADIOS

Error: entre CM = .97523, gl = 31.000			Error: entre CM = .97523, gl = 31.000		
	{1}			{1}	
	PELI	.61604		NEUTRA	.73350
1	QN		1	NO	
2	QN-C	0.45787907	2	SI	0.00114367
3	QN-G	0.99795899			
4	QN-T	0.98793249			
5	QN-C-G	0.043331			
6	QN-C-T	0.27572189			
7	QN-G-T	0.91780094			
8	QN-C-G-T	0.92579248			